



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HARRI KATAJAMÄKI
RAKENNUKSEN TIETOMALLINTAMISEN HYÖTYJEN KARTOIT-
TAMINEN OMAPERUSTEISESSA ASUINKERROSTALOTUOTAN-
NOSSA

Diplomityö

Tarkastajat:
Prof. Jukka Pekkanen, TTY
Tekn. lis. Juha-Matti Junnonen, TTY
Tarkastajat ja aihe hyväksytty koulu-
tusvaradekaanin päätöksellä
30.1.2017

TIIVISTELMÄ

KATAJAMÄKI, HARRI: Rakennuksen tietomallintamisen hyötyjen kartoittaminen omaperusteisessa asuinkerrostalotuotannossa

Diplomityö, 73 sivua, 3 liitesivua

Toukokuu 2017

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastajat: professori Jukka Pekkanen (TTY), tekniikan lisensiaatti Juha-Matti Junnonen (TTY), DI Juho Kinnunen (YIT Rakennus Oy)

Avainsanat: BIM, rakennuksen tietomallintaminen

Tämän diplomityön päätavoitteena oli kartoittaa rakennuksen tietomallintamisesta saatavia hyötyjä, keskittyen erityisesti omaperusteiseen asuinkerrostalotuotantoon. Työ koostuu kirjallisuustutkimuksesta ja kaksi-osaisesta haastattelututkimuksesta. Haastatteluiden alkuosa keskittyi teemakeskusteluun rakennuksen tietomallintamisen hyödyistä haastateltavan kokemuksen mukaan ja toisessa osassa haastateltavat arvioivat kirjallisuuden pohjalta rakennettua listaa rakennuksen tietomallintamisen hyötyväitteistä.

Kirjallisuuskatsauksen perusteella syntyi kuva oikein ja huolellisesti tehdystä tietomallintamisesta saatavissa olevasta lukemattomasta määrästä erilaisia hyötyjä. Jonkin verran artikkeleissa ja tutkimuksissa tuli esille myös erilaisia rakennuksen tietomallintamisen aloittamisesta syntyviä kustannuksia, mutta ei juurikaan haittoja. Myöskään tietomallintamisen nykytilaan yrityksessä ei paneuduttu, vaan keskityttiin kartoittamaan rakennuksen tietomallintamisen potentiaalia.

Erityisesti asuntotuotannon tietomallintamiseen liittyviä tutkimuksia ei löytynyt, joten kirjallisuusosiossa käsitellään hyötyjä laajemmin tarkasteltuna.

Haastateltavat valittiin yhdessä työn ohjaajan kanssa ja he edustivat laajalti eri osaamisalueita ja yrityksen organisaatioita. Yleisesti haastateltavista välittyi positiivinen odotusarvo rakennuksen tietomallinnusta kohtaan.

Sekä kirjallisuuden että haastateltavien mukaan tietomallinnuksen hyödyt, myös suhteessa sen kustannuksiin, ovat kiistattomat ja monimuotoiset. Esille voisi nostaa vaikkapa visuaalisen hahmottamisen kaikissa hankkeen vaiheissa, yhteistyön helpottumisen, suunnittelun laadun paranemisen ja rakentamistyön suunnittelun ja ohjaamisen helpottumisen. Lisäksi digitaalisen työmaan houkuttelevuus nuoren työvoiman keskuudessa arvioitiin merkittäväksi eduksi. Hyötyjen saavuttamiseksi oikein ja kurinalaisesti tehty mallintaminen on kaiken perusta.

ABSTRACT

HARRI KATAJAMÄKI: Identification of benefits of building information modelling in apartment building development.

Master of Science Thesis, 73 pages, 3 appendix pages

May 2017

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction Management

Examiner: Professor Jukka Pekkanen (TUT), Lic.Sc. (Tech.) Juha-Matti Junnonen (TUT), M.Sc. (Tech.) Juho Kinnunen (YIT Rakennus Oy)

Keywords: BIM, building information modelling

Main objective of this thesis was to identify benefits achievable using building information modelling (BIM). Focus of the thesis was in apartment building development. This thesis comprises a literature study and two-phase interviews. First phase of interviews concentrated on theme discussion on benefits of building information modelling based on the experience of the interviewee. In the second phase interviewees evaluated how useful BIM is. Evaluation form was made by listing benefits of building information modelling based on the literature study.

Based on literature study, there are vast amount of various achievable benefits by using BIM if the work is done correctly and carefully. Surprisingly not many disadvantages of BIM were mentioned in the literature and the few concentrate on various types of costs related to implementing BIM. The limitations of the literature study are that it deals with benefits of building information modelling in wider scope of construction business than this thesis. Especially studies about building information modelling on apartment building development were not found.

Interviewees were selected together with the mentor from the client company and they represented widely different organisations and disciplines. In general, interviewees had very positive expectations regarding building information modelling.

Both the literature study and the discussions with the interviewees concluded that benefits of building information modelling are undisputed and diverse. Good examples of those benefits are for example visual perception in every phase of building development process, easier co-operation, increased quality of engineering and easier planning of construction. Another benefit evaluated as notable is the attractiveness of digital workplace among young people. To achieve these benefits building information modelling must be done correctly and with discipline.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteeksi diplomi-insinöörin tutkintoon Tampereen teknillisen yliopiston Rakennustuotannon ja -talouden yksikölle. Tutkimuksen toimeksiantaja on YIT Oyj.

Työtä ovat ohjanneet DI Juho Kinnunen YIT:ltä ja tekniikan lisensiaatti Juha-Matti Junnonen TTY:lta. Työn tarkastajana toimi professori Jukka Pekkanen.

Haluan kiittää työni ohjaajia opastuksesta sekä erittäin rakentavasta ja oivaltavasta palautteesta. Haluan myös kiittää kaikkia niitä YIT:n asiantuntijoita, joita vaivasin pitkillä haastatteluilla ja joiden panos oli oleellinen työn tekemiseksi.

Suuret kiitokset kaikille henkilöille, jotka tukivat ja kannustivat minua päätöksessäni kouluttautua kypsällä iällä uudelle alalla. Erityisen lämpimästi kiitän vaimoani sekä lapsiani ikinuoren teekkarin sietämisestä!

Oulussa 14.5.2017

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaus	2
1.3	Tutkimusmenetelmät	2
2.	KIRJALLISUUSSELVITYS	4
2.1	Tietomallintamisen lähtökohdat	4
2.2	Rakennuksen tietomallintaminen	6
2.2.1	Tietomallinnuksen tason määrittäminen ulottuvuuksien avulla.....	8
2.2.2	Tietomallien käytön osa-alueita	8
2.2.3	Tietomallien yhteen toimivuus.....	11
2.2.4	Rakennuksen tietomallin tason määrittäminen.....	11
2.2.5	Hankkeen tietomallirakenne	13
2.3	Tietomallintaminen, Lean-rakentaminen ja IPD	16
2.4	Omaperusteinen asuntotuotanto	19
2.5	Tietomallintamisen hyödyt asuntotuotannossa	20
2.6	Rakennuksen tietomallintamisen hyödyt rakennushankkeen eri vaiheissa..	24
2.6.1	Myynti ja markkinointi	25
2.6.2	Hankesuunnittelu ja hankepäätös.....	25
2.6.3	Suunnittelu	28
2.6.4	Rakentaminen.....	29
2.6.5	Käyttö ja ylläpito.....	31
2.7	Rakennuksen tietomallintamisen haasteita.....	32
2.8	Tietomallintamisen tulevaisuus	32
2.8.1	Virtuaalitodellisuus ja laajennettu todellisuus	34
3.	HAASTATTELUTUTKIMUS	37
3.1	Haastattelututkimuksen kuvaus.....	37
3.2	Kyselytutkimuksen kuvaus	38
3.3	Tontti-investointivaihe	39
3.3.1	Tontti-investointi.....	39
3.3.2	Hankesuunnittelu	40
3.4	Suunnitteluvaihe.....	41
3.4.1	Luonnossuunnittelu	41
3.4.2	Pääpiirustussuunnittelu	42
3.5	Rakentamisen ja myynnin valmistelu -vaihe	44
3.5.1	Työpiirustussuunnittelu.....	44
3.5.2	Tuotantosuunnittelu	45
3.6	Rakentaminen ja myynti -vaihe.....	47
3.6.1	Työmaan käynnistäminen	48
3.6.2	Runkovaihe	49
3.6.3	Sisävalmistusvaihe	50

3.6.4	Luovutus.....	52
3.7	Yleisiä havaintoja.....	53
3.8	Väitettyjen hyötyjen arviointikyselyn vastaukset	53
3.8.1	Yleistä tarkastelua	53
3.8.2	Arviointikyselyn tulokset.....	54
4.	TULOKSET	58
4.1	Haastatteluissa tärkeimmiksi nousseet hyödyt.....	58
4.2	Tulosten YIT:n strategiaa tukeva näkökulma	63
4.3	Haastattelu- ja kyselytutkimuksen vastausten vertailu kirjallisuustutkimuksen kanssa.....	65
5.	YHTEENVETO	67
5.1	Johtopäätöksiä tutkimuksesta.....	67
5.2	Tutkimuksen arviointi	67
5.3	Jatkotutkimusaiheita.....	68
	LÄHTEET.....	69
	LIITE A: HAASTATTELUIDEN KYSYMYSRUNKO	
	LIITE B: HAASTATELTAVAT	

KUVALUETTELO

Kuva 1.	<i>Rakennusteollisuuden tuottavuus on pysynyt muuttumattomana samaan aikaan kun valmistusteollisuuden tuottavuus on lähes kaksinkertaistunut (McKinsey&Company 2015).</i>	5
Kuva 2.	<i>Vaikutusmahdollisuus perinteisessä suunnittelumallissa ja BIM-lähtöisessä suunnittelussa (Strafaci 2008).</i>	7
Kuva 3.	<i>Tutkimukseen osallistuneiden BIM:n osa-alueiden käytön jakauma (Becerik-Gerber 2010).</i>	9
Kuva 4.	<i>RTS:n kyselyyn vastanneiden näkemyksiä rakennuksen tietomallintamiseen liittyvistä väittämistä (Finne 2013).</i>	10
Kuva 5.	<i>Hankkeen tietomallirakenne YTV 2012 mukaan.</i>	14
Kuva 6.	<i>Eri suunnitteluosapuolten tuottamat tiedot yhdistetään hankkeen aikataulun tarkastuspisteissä yhdistelmämalleiksi (RT-1010992 2010).</i>	16
Kuva 7.	<i>Lean, hukan kahdeksan lajia (Sarhan 2015).</i>	17
Kuva 8.	<i>Rakennuksen tietomallinnuksen hyötyjen realisoituminen ja mittaaminen, mukailtu (Love 2013).</i>	22
Kuva 9.	<i>Kuvakaappaus reaaliaikaisesta renderöinnistä, joka on tehty Bimxplorer-laajennuksella laajasta Revit-mallista (Johansson 2016, www.bimxplorer.com).</i>	26
Kuva 10.	<i>3d-skannatut olemassa olevat talotekniset rakenteet yhdistettynä rakennuksen tietomalliin (Azhar 2012).</i>	27
Kuva 11.	<i>Automaattinen aukon ja reunan tunnistus ja kaiteet mallinnettuna (Zhang 2015).</i>	31
Kuva 12.	<i>BIM-toimintojen yhdistäminen yhteiselle alustalle (Li 2014).</i>	33
Kuva 13.	<i>Iso-Britannian BIM-työryhmän kehittämä kuvaus BIM-tasoista eli niin sanottu iBIM-malli siten kuin se esitettiin hallituksen rakennusasiakastyöryhmän strategiapaperissa vuonna 2011 (GCCG 2011).</i>	34
Kuva 14.	<i>3D-renderöinnin avulla tietomallista luodaan kuva perustuen "virtuaalisen kameran" asemaan ja muihin parametreihin (Johansson 2016).</i>	35
Kuva 15.	<i>YIT:n asuntoprosessi voimakkaasti yksinkertaistettuna (YIT 2016).</i>	38
Kuva 16.	<i>Putkihormin leikkauskuva (YIT).</i>	51
Kuva 17.	<i>Väitettyjen hyötyjen arviointikyselyn vastausten jakauma.</i>	54
Kuva 18.	<i>Väitetyt hyödyt arvioidussa paikkaansa pitävyyssjärjestyksessä.</i>	56
Kuva 19.	<i>Kaikki arviointikyselyn vastaukset lajiteltuna kysymysten keskiarvon ja vastaaja-kohtaisen keskiarvon mukaan.</i>	57

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Vuosikymmenien ajan rakennuksen tietomallintamisen (BIM, Building Information Modeling) on uskottu ja toivottu muuttavan rakentamista merkittävästi. Sen uskotaan synnyttävän merkittäviä kustannussäästöjä, mahdollisesti jopa kaikissa rakentamisen vaiheissa. Toisaalta rakentamisen kannattavuus on ollut kansainvälisestikin heikkoa (esim. Teicholz 2001), joka on ohjannut esimerkiksi suunnittelun toteuttamista kohti edullisinta tapaa, ja usein BIM:n epäillään nostavan suunnittelukustannuksia. Yleisesti kuitenkin tunnustetaan, että tietomallintaminen auttaa ratkaisujen hahmottamisessa visuaalisesti sekä esimerkiksi törmäystarkastelujen tekemistä (esim. Gilkinson 2015, Sacks 2009, Straciaci 2008).

Tietämys siitä, mitä rakennuksen tietomallintaminen on, vaihtelee suuresti. Alkeellisimmillaan tietomallintamiseksi kutsutaan piirustusten visualisointia 3D-mallintamisella. Seuraavalla käyttöasteella hanketta seurataan ajallisesti mallin avulla (4D). Jotkut organisaatiot ovat alkaneet käyttää myös niin sanottua 5D-mallinnusta, jossa kustannuksetkin on mallinnettu.

Useissa selvityksissä on alettu nostaa esiin rakennuksen tietomallintamisen luonnetta enemmänkin prosessina ja menetelmänä tiedon jakamiseksi ja kommunikoinnin parantamiseksi eri asiantuntijaryhmien välillä kuin pelkkänä tietoteknisenä työkaluna (Esim. Aravici 2011, Gilkinson 2015)

Rakennuksen tietomallinnuksen, lean-ajattelutavan ja integroidun projektituotannon yhteyttä ja synergiaa tutkitaan enenevissä määrin. Rakennuksen tietomallinnuksen ytimen muodostavat hankkeen osapuolten syvä yhteistyö ja oikein rakennettu, standardoitu informaatio, jotka mahdollistavat tehokkuuden parantamisen ja hukan vähentämisen. Tästä johtuen rakennusteollisuudessa tutkitaan ja pyritään laajasti lisäämään rakennusten tietomallintamisen ja lean-menetelmien käyttöä (Fleming 2016)

Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitoksella professori Jukka Pekkanen johdolla tehty tutkimus digitaalisuuden nykytilasta kiinteistö- ja rakennusalailla viittaa siihen, että vaikka toimialalla ei yleisesti ottaen vielä koeta digitaalisuutta keskeiseksi kilpailuedun lähteeksi, tilanteen uskotaan kuitenkin muuttuvan lähitulevaisuudessa. Alan yritykset ovat investoimassa yhä enemmän digitaalisuuteen kehittääkseen liiketoimintaansa ja erottuakseen asiakkailleen. Näkemys digitaalisuuden avulla saavutettavista hyö-

dyistä ei vielä ole selkeä. Kuitenkin tutkimuksen mukaan digitaalisesti suuntautuneet yritykset kokevat olevansa vastausten mukaan keskimääräistä kannattavampia. Keskeiset haasteet digitalisoinnin kehittämiseksi ovat organisaation ketteryyden ja osaamisen puute sekä saavutettavien hyötyjen mittaamisen hankaluus (Puhto 2016).

1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja raja

Tutkimuksen tavoitteena on analysoida mitä hyötyjä tietomallintamisesta hankkeen eri vaiheissa on mahdollista saavuttaa sekä mitä kustannuksia tietomallintaminen aiheuttaa. Erityisesti selvitetään rakennuksen tietomallinnuksen vaikutusta kustannuksiin vaikuttavien päätösten tekemisessä ja auttaako hankkeen suunnitteluvaiheissa mahdollisesti tehtävä lisätyö tietomallintamiseksi säästämään kustannuksia ja varmistamaan aikataulussa pysymistä hankkeen myöhemmissä vaiheissa.

Tutkimuksen tavoitteeseen pääsemiseksi muodostettiin seuraavat tutkimuskysymykset: Mitä taloudellisia hyötyjä tietomallintamisesta on? Mistä mahdolliset hyödyt johtuvat? Miten mahdollisia hyötyjä voidaan eritellä ja luokitella? Mitä kustannuksia tietomallintaminen aiheuttaa?

Tutkimus rajataan koskemaan kohdeyrityksen asuntotuotantoa. Raja

1.3 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksen tutkimusmenetelminä käytetään kirjallisuustutkimusta ja haastattelututkimusta. Kirjallisuusselvityksessä esitellään rakennuksen tietomallinnus ja perehdytään tuoreimpiin tutkimuksiin ja analyyseihin tietomallinnuksen eduista.

Tutkimuksen empiirinen aineisto hankitaan haastattelututkimuksen keinoin. Haastattelututkimuksessa kerätään näkemyksiä ja kokemuksia erityisesti YIT:n asuntotuotannossa mukana olevilta henkilöiltä, mutta laajemman kattavuuden saamiseksi mukaan otetaan YIT:n muillakin liiketoiminta-alueilla työskenteleviä asiantuntijoita. Haastateltavien tehtävänkuvat ja kokemus rakennuksen tietomallintamisesta vaihtelevat suuresti. Tutkimus rajataan koskemaan kohdeyrityksen asuntotuotantoa. Raja

Tässä haastattelututkimuksessa on kaksi osaa, teemakeskustelu ja arviointikysely.

Ensimmäisessä osassa käytetään laadullisia eli kvalitatiivisia kysymyksiä. Tällöin tutkimuksella ei tarvitse olla testattavaa hypoteesia eikä näin ollen myöskään ennakko-oletuksia, vaan syy-seuraussuhteita etsitään laadullisen arkiajattelun pohjalta. Aineiston koon

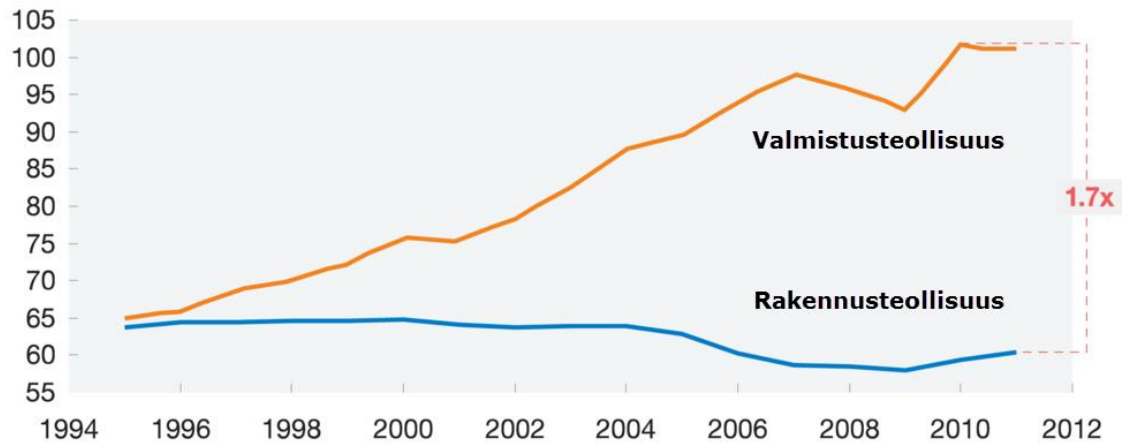
valinta on kvalitatiivisessa tutkimuksessa vaikeaa, sillä pyrkimyksenä ei ole löytää tilastollisia säännönmukaisuuksia tai keskimääräisiä yhteyksiä. Aineiston keruussa noudatetaan usein saturaation periaatetta eli aineistoa kerätään, kunnes aineisto ei enää tarjoa uutta ainesta kehitteillä olevaan teoriaan (Saaranen-Kauppinen 2012).

Haastattelututkimuksen toisessa osassa haastateltavia pyydetään arvioimaan hyötyväitteiden paikkaansa pitävyyttä määrätyllä arvosteluasteikolla.

2. KIRJALLISUUSSELVITYS

2.1 Tietomallintamisen lähtökohdat

Kirjallisuuden mukaan perinteisissä rakennushankkeissa tehdään enemmän tarpeetonta työtä ja virheitä verrattuna muihin teollisuuden aloihin, eikä viimeisen puolen vuosisadan aikana tapahtunut automaation ja tietojärjestelmien kehitys ei ole ulottunut rakentamiseen ja lisännyt tuottavuutta. Esimerkiksi Stanfordin Center for Integrated Facility Engineering – yksikön (CIFE) tekemä vertailu Yhdysvalloista vuosilta 1964–2009 osoittaa, että vaikka muun teollisuuden tuottavuus on kaksinkertaistunut, rakentamisen tuottavuus on noussut vain 10 %. Vaikka vertailu sisältää monia esimerkiksi laskentatapaan liittyviä epävarmuuksia, se on kuitenkin selkeästi oikean suuntainen. Syiksi heikompaan tuottavuuden kasvuun on löydettävissä esimerkiksi kommunikoinnin epävarmuus ja toiminnan kehittämisen vaikeus rakennushankekohtaisen projektiorganisaation sisällä. Myöskään rakennustyömaalla ei juurikaan ole hyödytty automaatiosta. (Eastman 2011). Myös uudemmat selvitykset antavat samansuuntaisia tuloksia, esimerkiksi kuvassa 1 on konsulttiyhtiö McKinseyn esitys tuottavuuden kehityksestä valmistus- ja rakennusteollisuudessa vuosina 1995–2011. McKinseyn mukaan tarkastelujakson aikana valmistusteollisuuden tuottavuus on 1,7-kertaistunut, mutta rakennusteollisuuden tuottavuus on pysynyt muuttumattomana (McKinsey&Company 2015).



Source: Expert interviews; IHS Global Insight (Belgium, France, Germany, Italy, Spain, United Kingdom, United States); World Input-Output Database

McKinsey&Company

Kuva 1. Rakennusteollisuuden tuottavuus on pysynyt muuttumattomana samaan aikaan kun valmistusteollisuuden tuottavuus on lähes kaksinkertaistunut (McKinsey&Company 2015).

Suomessa rakennusalan tuottavuutta ovat tutkineet VTT ja ETLA. Erityisesti ETLAN mukaan rakennusteollisuuden tuottavuus on huomattavasti muita teollisuuden aloja heikompaa ja tällä vuosituhannella tuottavuuden kehitys on ollut vieläkin heikompaa. Rakentamisen sisällä tosin tuottavuuden kehittymisessä on huomattaviakin eroja (Merikallio 2009).

Perinteinen rakentamisprosessi on fragmentoitunut ja se pohjautuu pitkälti kommunikointiin dokumenteilla. Näissä väistämättä esiintyvät virheet johtavat rakentamisen aikaisiin lisäkustannuksiin, viivästyksiin ja jopa oikeustoimiin projektin eri osapuolten välillä epäselvyyksien ratkaisemiseksi. Eastmanin mukaan dokumenttipohjainen, esimerkiksi 2d-piirustuksiin nojaava, kommunikointi pohjautuu toisten tekemän työn analysointiin ja toistamiseen, ilman että käytössä on kaikkea jo olemassa olevaa tietoa. Tämä on erittäin virhealtista ja tietenkin päällekkäistä työtä. Usein käytössä oleva dokumentaatio ei ole edes viimeisin, päivitetty versio, jolloin siihen pohjautuva työ saattaa osoittautua turhaksi tai aiheuttaa lisää virheitä. (Eastman 2011).

Tietomallien avulla rakennuksen suunnitelmätieto voidaan siirtää rakennushankkeen eri osapuolille sellaisessa elektronisessa muodossa, josta tieto on hyödynnettävissä ilman manuaalista työtä. Kaikki rakennuksen elinkaaren aikana tarvittava tieto löytyy rakennuksen tietomallista yhdestä paikasta ja se on helposti haettavissa ohjelmistoriippumattomasti. (Penttilä 2006)

2.2 Rakennuksen tietomallintaminen

Rakennuksen tietomallintamisella (Building Information Modeling, BIM) on aikojen kuluessa tarkoitettu eri asioita, eikä sillä vieläkään ole vain yhtä, yleisesti hyväksyttyä määritelmää. (Migilinskas 2013). Seuraavassa on mainittu muutamia kirjallisuudessa esiintyviä BIM:n määritelmiä.

AutoDeskin Adam Strafacin (Strafacci 2008) mukaan rakennuksen tietomallintaminen ei tarkoita tiettyä ohjelmistoa tai tuotetta, vaan se on integroitu prosessi, joka on rakennettu koordinoitun ja luotettavan tiedon varaan koko projektin elinkaaren ajaksi.

Eastman (Eastman 2011) määrittää rakennuksen tietomallinnuksen olevan ”mallinnustekniikka ja siihen liittyvät prosessit, joilla tuotetaan, kommunikoidaan ja analysoidaan rakennuksen malleja”.

Salford Centre for Research and Innovation (SCRI) määrittää myöskin rakennuksen tietomallintamisen metodiksi ja prosessiksi eikä suinkaan tietotekniseksi ratkaisuksi. Heidän määritelmänsä mukaan, lyhennettynä ja käännettynä, ”BIM on menetelmä, joka esittää suunnitelman määritettyinä objekteina, joilla on kaikki tarvittavat geometriat, riippuvuudet ja attribuutit, jotka muodostavat koordinoitun digitaalisen tietovarannon, joka sisältää laskettavissa olevan informaation projektin elinkaaren ajaksi” (Gilkinson 2015).

Yhdysvaltalainen kansallinen rakennuksen tietomallintamisen standardit - komitea (The National Building Information Modeling Standards, NBIMS) määrittää tietomallinnuksen samankaltaisesti. Sen mukaan BIM on:

- Kiinteistön fyysisten ja toiminnallisten ominaisuuksien digitaalinen esitys.
- Kiinteistön informaatiovarasto, joka muodostaa luotettavan perustan päätöksenteolle koko kiinteistön elinkaaren ajalle, konseptivaiheesta purkuun.

Lisäksi NBIMS:n määritelmän mukaan perusedellytys rakennuksen tietomallinnukselle on yhteistyö, kollaborointi, eri osapuolten välillä kaikissa kiinteistön elinkaaren vaiheissa, tarkoituksena lisätä, poistaa, päivittää tai muokata mallin informaatiota (Azhar 2012).

Hiukan toisenlaisen, enemmän teknis-organisatorisen määritelmän mukaan rakennuksen tietomallintaminen määrittää yksiselitteisesti rakenteen, arkkitehtuurin, mekaniikan ja sähkötekniikan keskinäiset riippuvuudet yhdistämällä teknologian avulla projektiorganisaation (Dossick 2010).

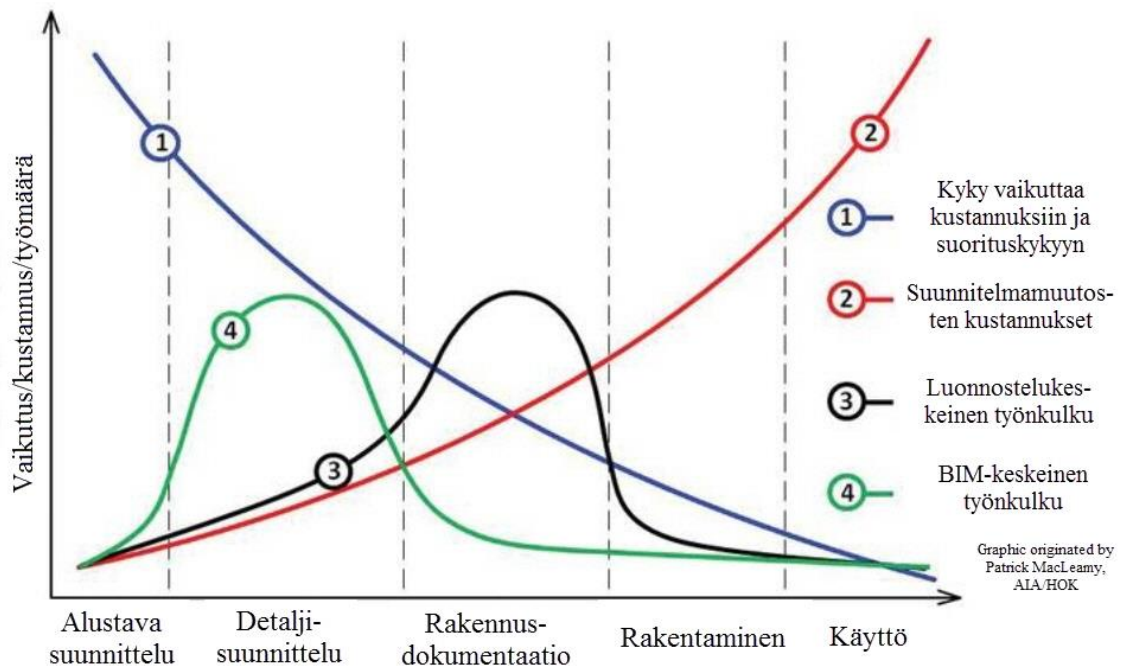
Edellä mainittujen määritelmien perusteella tietomallintaminen eroaa 3D-mallinnuksesta merkittävästi. Kyseessä on nimenomaan tietojen mallintaminen eli erilaisten ominaisuuksien yhdistäminen objekteihin, joita ovat esimerkiksi rakennuksen ovet, ikkunat, pilarit ja palkit tai tilat. Yhdistettävää tietoa voivat olla esimerkiksi objektin sijainti, määrä, tilan dimensiot, palotekniset ominaisuudet, paino tai hinta. Lisäksi määritelmissä korostuu eri

osapuolten tai asianomistajien yhteistyö sekä rakennuksen tietomallinnuksen prosessin-omaisuus.

Suomessa Rakennustietosäätiön (RTS) johdolla rakennusalan yritysten kanssa toteutetut yleiset tietomallivaatimukset (YTV 2012) määrittää tietomallinnuksen tavoitteeksi ”suunnittelun ja rakentamisen laadun, tehokkuuden, turvallisuuden ja kestävän kehityksen mukaisen hanke- ja elinkaari-prosessin tukeminen”. YTV:stä löytyy myös tietomallin määritelmä: ”Rakennuksen ominaisuuksien aineellinen ja toiminnallinen kuvaus digitaalisessa muodossa, mikä mahdollistaa tiedon jakamisen yhteisesti sovitulla tavalla.”

Kuvassa 2 on mukailtu MacLeamyn kuvaaja, jossa esitetään, että käyttämällä rakennuksen tietomallintamista (4), suunnittelun työpanos siirtyy varhaisempiin vaiheisiin, jolloin mahdollisuudet vaikuttaa hankkeen kokonaiskustannuksiin ja onnistumiseen (1) ovat suuremmat ja suunnitelmamuutosten kustannukset (2) ovat pienempiä verrattuna perinteiseen työtapaan (3) (Strafaci 2008).

Strafacin (2008) mukaan tämä johtuu siitä, että suunnittelussa käytetään tarkempaa ja luotettavampaa tietoa ja toisaalta kun muutoksia suunnitelmiin väistämättä tehdään, tieto niistä välittyy automaattisesti kaikille osapuolille. Edellä mainittu edellyttää, että pitkälle vietyä järjestelmien välistä integraatiota.



Kuva 2. Vaikutusmahdollisuus perinteisessä suunnittelumallissa ja BIM-lähtöisessä suunnittelussa (Strafaci 2008).

2.2.1 Tietomallinnuksen tason määrittäminen ulottuvuuksien avulla

Rakennuksen tietomallintamisen tasoa kuvataan yleisesti ulottuvuuksien eli dimensioiden määrällä (Smith 2014). Pelkistetyin tietomalli on ns. geometrinen malli (3D), jossa objektien tiedot on parametrisoitu. Geometriamalli mahdollistaa rakennuksen visualisoinnin hyvin moneen eri tarpeeseen ja niin, että näkymät voidaan automaattisesti päivittää suunnitelmien muuttuessa.

Mikäli geometriamalliin lisätään aika tai kohteen valmistumisaste, puhutaan 4D-mallista. 4D mahdollistaa tehtävien edistymän seurannan reaaliaikaisesti ja visuaalisesti koko rakennusprojektin elinkaaren ajan, samoin kuin esimerkiksi rakennustyömaan järjestyksen tarkastelun ja optimoinnin.

Seuraavalla tasolla mallin objekteille lisätään kustannustietokin, joten mallia voidaan käyttää myös kustannuslaskentaan, kustannusanalyysiin ja budjetin seurantaan. Suunnitelmien tai vaikkapa tarjolla olevien materiaalien muuttuessa tämä ns. 5D-malli mahdollistaa nopean ja tarkan kustannusten uudelleen laskennan, samoin kuin erilaisten variaatioiden nopean kustannussimuloinnin.

Rakennuksen 6D-tietomalli pitää sisällään informaatiota, jota tarvitaan kiinteistönhallinnassa, kuten esimerkiksi tietoja käytetyistä komponenteista, laitteista tai järjestelmistä. Tiedot voivat olla esimerkiksi käyttöohjeita, kuvia, varaosaluetteloita tai takuutietoja. Tiedot ovat tietomalliin integroituja eli rakennuksen komponenttien ominaisuuksia, eivät erillisiä dokumentteja, joissa luetellaan asioita.

7D:ssä mukaan kytketään kestäväkehitys, lähinnä hiilijalanjälkitiedot. Myös energian kulutuksen tiedot voivat olla mukana.

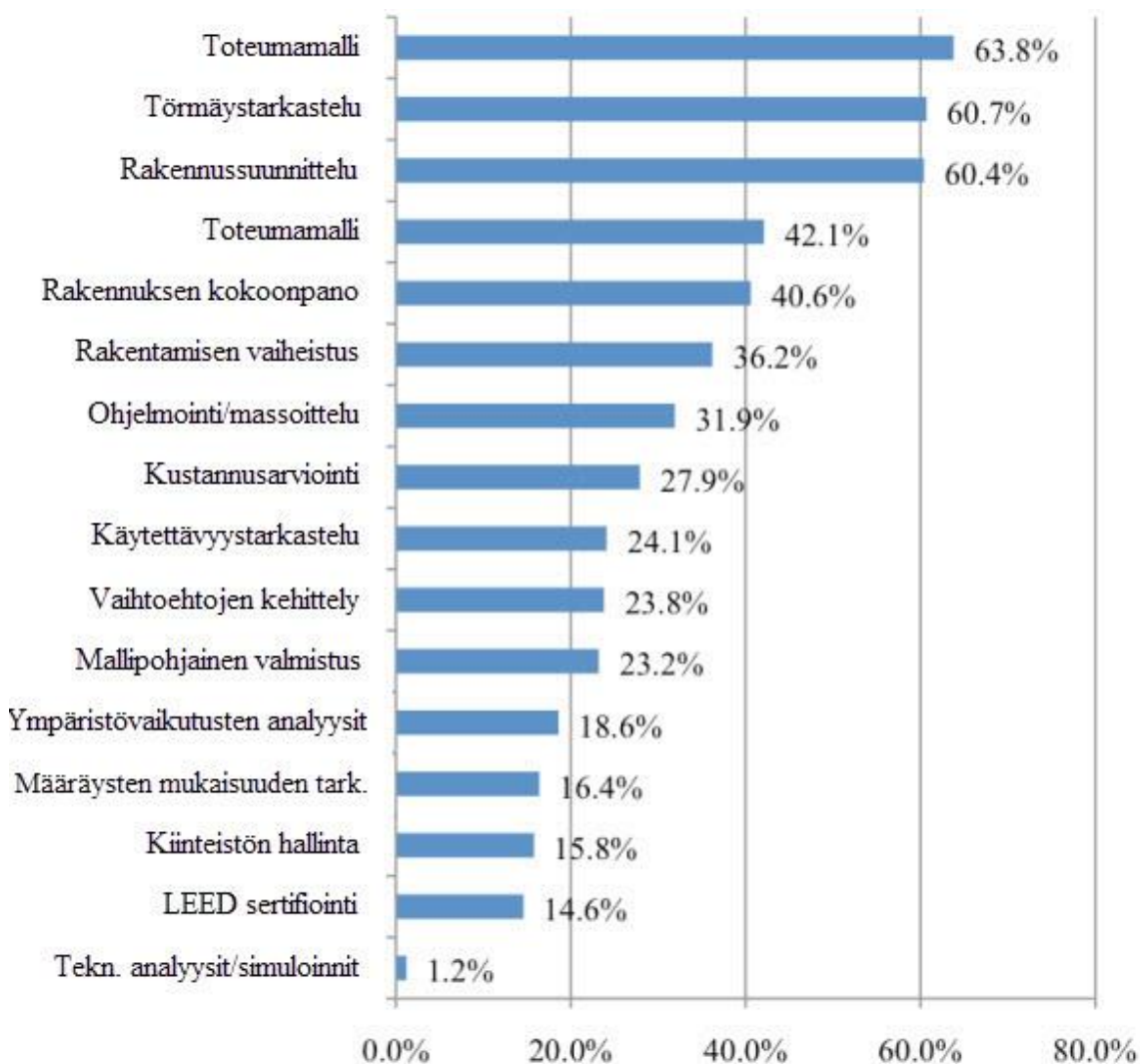
Joissakin lähteissä rakennuksen 6D- ja 7D-tietomallitasojen määritelmät ovat toisinpäin, mutta tärkeintä lienee ajatus, että tietomallissa kaikki rakennuksen elinkaaren aikana tarvittavat tiedot ovat mallinnettuina ominaisuuksina rakennuksen komponenteissa. Kyseessä ei ole dokumenttikirjasto.

2.2.2 Tietomallien käytön osa-alueita

Vuonna 2010 julkistettiin Etelä-Kalifornia yliopistossa (University of Southern California, USA) tehty haastattelututkimus, jossa perehdyttiin tietomallintamiseen käyttöön yhdysvaltalaisissa arkkitehti- ja insinööritoimistoissa. Vastaajia kyselyyn saatiin lopulta 424. Näistä noin kolmannes työskenteli arkkitehtuurin alalla, viidesosa ”insinööritehtävissä” (engineering) ja loput jakaantuivat muun muassa rakentajiin, konsultteihin ja ura-

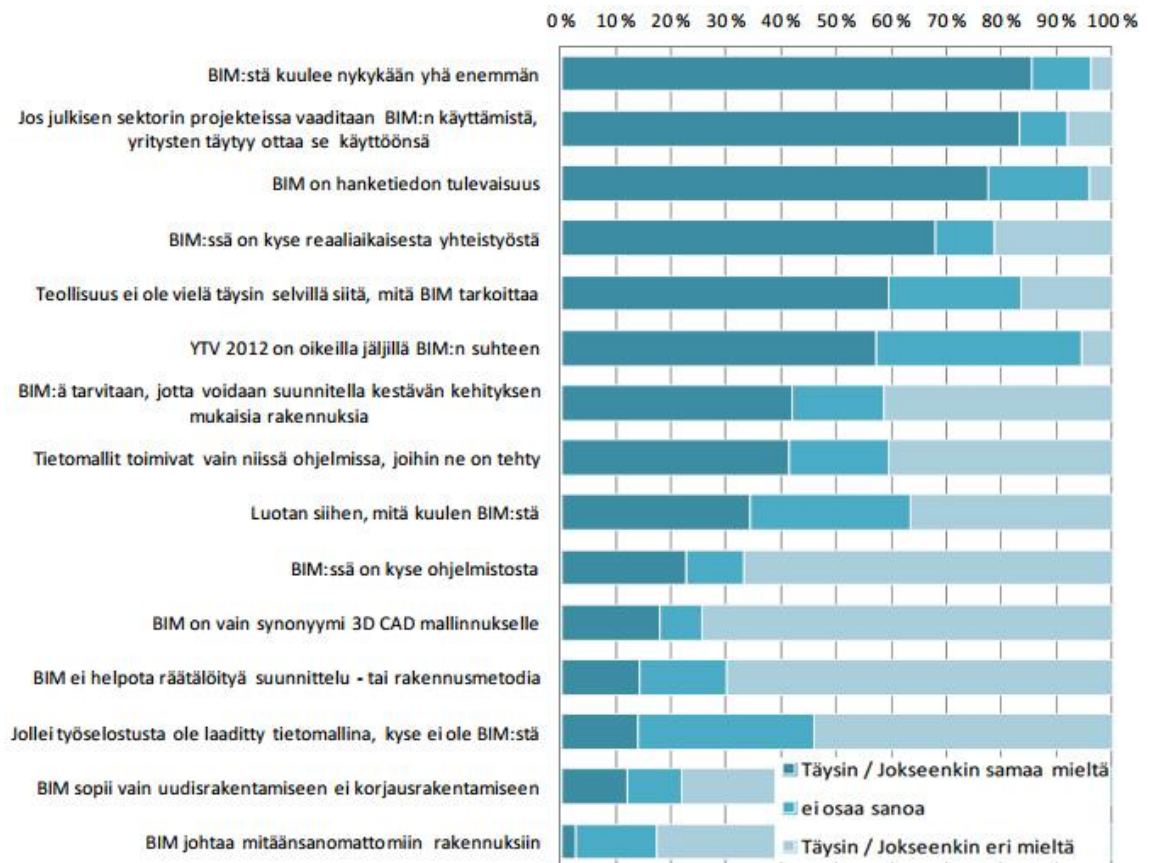
koitsijoihin. Vastaajia pyydettiin kertomaan valitsemastaan tietomallinnusta hyödyntäneestä projektista. Nämä jakaantuivat yllättävän laajasti kaikenlaiseen rakentamiseen, suurimpana 25 %:n osuudella vähittäiskauppa- ja toimitila rakentaminen ja toiseksi suurimpana 18 %:n osuudella asuntotuotanto.

Vastaajilta kysyttiin myös mitä BIM:n osa-alueita he käyttivät valitsemassaan hankkeessa. Tämän kysymyksen vastausten jakauma esitetään kuvassa 3. Selkeästi yleisintä oli tietomallintamisen käyttäminen visualisointiin, törmäystarkasteluihin sekä rakennuksen suunnitteluun, joiden käyttöaste oli >60 %. Vähiten yleistä oli rakennuksen tietomallintamisen käyttäminen teknisiin analyyseihin ja simulaatioihin (forensic analysis), kuten esimerkiksi evakuointisuunnitelmien ja vuotokohtien tutkimiseen. Tämä on jossakin määrin yllättävää, sillä BIM soveltuu edellä mainittuihin analyyseihin hyvin ja vaadittava lisätyö on suhteellisen vähäinen (Becerik-Gerber 2010).



Kuva 3. Tutkimukseen osallistuneiden BIM:n osa-alueiden käytön jakauma (Becerik-Gerber 2010).

Rakennustietosäätöön ja BuildingSMART Finlandin vuonna 2013 yli 400 henkilölle tekemän kyselytutkimuksen (Finne 2013) mukaan 67 % vastaajista ilmoitti rakennuksen tietomallinnuksen olevan käytössä yrityksessään. Viiden vuoden kuluttua 92 % vastaajista uskoi yrityksessään tietomallinnettavan. Kuitenkin kysyttäessä BIM:n käytön aktiivisuutta vain 45 % vastaajista ilmoitti yrityksensä käyttävän tietomallintamista päivittäisessä toiminnassaan. Tutkimuksessa esitettiin vastaajille myös joukko väittämiä rakennuksen tietomallintamisesta ja pyydettiin kertomaan niiden oikeellisuudesta kolmiportaisella asteikolla (kuva 4). Erityisen mielenkiintoinen havainto on, että lähes 80 % vastaajista näkee tietomallintamisen reaaliaikaisena yhteistyönä, joka kirjallisuudessa ja tutkimuksissakin nähdään tärkeänä osana rakennuksen tietomallintamista ja yhtenä sen hyödyistä. Luvussa 2.3 käsitellään integroitua projektituotantoa, joka näyttäisi olevan samansuuntainen tekijä rakennuksen tietomallintamisen tämän aspektin kanssa. Vain noin neljännes vastaajista näki BIM:n synonyyminä 3D CAD – mallinnukselle.



Kuva 4. RTS:n kyselyyn vastanneiden näkemyksiä rakennuksen tietomallintamiseen liittyvistä väittämistä (Finne 2013).

2.2.3 Tietomallien yhteen toimivuus

IFC (Industry Foundation Classes) on avoin ja standardoitu tietomalli, joka on tarkoitettu mahdollistamaan rakennuksen tietomallintamisohjelmistojen välinen yhteen toimivuus. IFC:tä on kehitetty jo vuodesta 1994, jolloin perustettiin Autodeskin aloitteesta rakennusalan suunnittelu-, urakointi- ja ohjelmistokehitysyriyten työyhteisöliittymä (consortium) IAI (Industry/International Alliance for Interoperability) pohtimaan mahdollisuutta kehittää avoin standardi syntymässä oleville rakennuksen tietomallinnusohjelmistoille. Vaikka IFC ei olekaan ohjelmointirajapinta, vaan yleinen järjestelmäriippumaton tietomalli, useimmille BIM:n kanssa tekemisissä oleville henkilöille se on tuttu tiedonsiirtoformaatti. Itse asiassa, yleinen käsitys on, että IFC on BIM-ohjelmistojen välinen tiedonsiirtoformaatti, joka ei suinkaan ole virheellinen ajatus, vaikka IFC on paljon muutaakin. (Laakso 2012).

IFC-tietomalli on suunniteltu laajennettavaksi viitekehykseksi, jonka yleisistä objektimääritelmistä voidaan kehittää yksityiskohtaisempia malleja tukemaan tarkempaa tiedonsiirtoa. IFC-tietomalli tukee kaikkea rakennuksen tietomallinnusta eli koko rakennuksen elinkaarta hankkeen perustamisesta käyttöön saakka. (Eastman 2011). Uusin versio, IFC4, julkistettiin maaliskuussa 2013. Sen täydennyksiä on julkistettu heinäkuussa 2015 ja heinäkuussa 2016. IFC4 parantaa yleisesti arkkitehtuuristen, rakennuspalveluiden ja rakenne-elementtien määritelmiä, mutta lisäksi esittelee kokonaan uusia ominaisuuksia esimerkiksi energiatehokkuus- ja ympäristövaikutusanalyysihin (BuildingSMART-tech, 2016)

2.2.4 Rakennuksen tietomallin tason määrittäminen

Arkkitehtuurisuunnittelun (ja siten myös rakennussuunnittelun) perusta on alustavasta luonnostelusta siirtyminen aina tarkempiin suunnitelmiin. Tietomallinnuksessa kuitenkin esitykset näyttävät täsmällisiltä ja tarkoilta, vaikka kyseessä saattavat olla vasta ensimmäiset suuntaa antavat ajatukset. Tämän ristiriitaisuuden selvittämiseksi on syntynyt konsepti nimeltään tietomallin tarkkuustasot (Level of Details, LOD), joilla kuvataan mallin elementtien yksityiskohtaisuutta (Bedrick 2008).

Uudemmat kehitysasteet tietomallin tarkkuuden konseptiin löytyvät rakennuksen tietomallinnuksen tason (The Level of Development, LOD) määritelmästä (specification), joka mahdollistaa tietomallin sisällön ja luotettavuuden määrittämisen ja esittämisen yksiselitteisesti suunnittelu- ja rakennusprosessin eri vaiheissa. Määritelmää julkaisee BIMForum, jonka taustalta löytyy muun muassa American Institute of Architects (AIA) sekä The Associated General Contractors of America (AGCA). Tasoa ei määritetä suunnittelun vaiheiden mukaan, sillä niille ei ole olemassa globaalia standardia. Lisäksi eri vaiheiden jälkeinen tietomalli sisältää todennäköisesti elementtejä, joiden tasot vaihtelevat. Tämän vuoksi tasomääritelmää ei ole tarkoitettu vaatimuksiksi, vaan se on työkalu,

jonka avulla tietomallin tekijät, käyttäjät ja omistaja voivat määritellä mallinnuksen tuotokset ja niiden vaatimukset, kuten sisällytettävä informaatio sekä yksityiskohtaisuus. Erityisesti määritelmässä korostetaan, että taso (LOD) ei määrittele elementtien tarkkuutta vaan tasoa, jolla niiden geometria ja ominaisuudet on mietitty eli toisin sanoen kuinka luotettava malli on (BIMForum 2016). Seuraavassa on lyhyesti esitelty LOD – tasot:

LOD 100	Elementti voi olla graafisesti esitetty <u>symbolilla tai muulla yleisellä merkinnällä</u> . Ei täytä LOD 200 vaatimuksia.
LOD 200	Elementti on graafisesti esitetty <u>yleisenä järjestelmänä</u> , objektina tai kokoonpanona, jolla on <u>suuntaa-antavat</u> määrät, koko, muoto, sijainti ja suunta. Elementillä voi olla myös ei graafisia ominaisuuksia.
LOD 300	Elementti on graafisesti esitetty <u>määriteltynä järjestelmänä</u> , objektina tai kokoonpanona, jolla on <u>mallista mitattavissa olevat</u> määrät, koko, muoto, sijainti ja suunta. Elementillä voi olla myös ei graafisia ominaisuuksia.
LOD 350	LOD 300 tason lisäksi elementillä on <u>riippuvuussuhteet/rajapinnat</u> toisiin elementteihin, kuten esimerkiksi kannatukset ja liittynät.
LOD 400	Edellisten lisäksi, tämän tason elementti on mallinnettu siten, että se on mahdollista valmistaa, kokoonpanna ja asentaa.
LOD 500	Elementin ominaisuudet on varmistettu mittaamalla se valmiina.

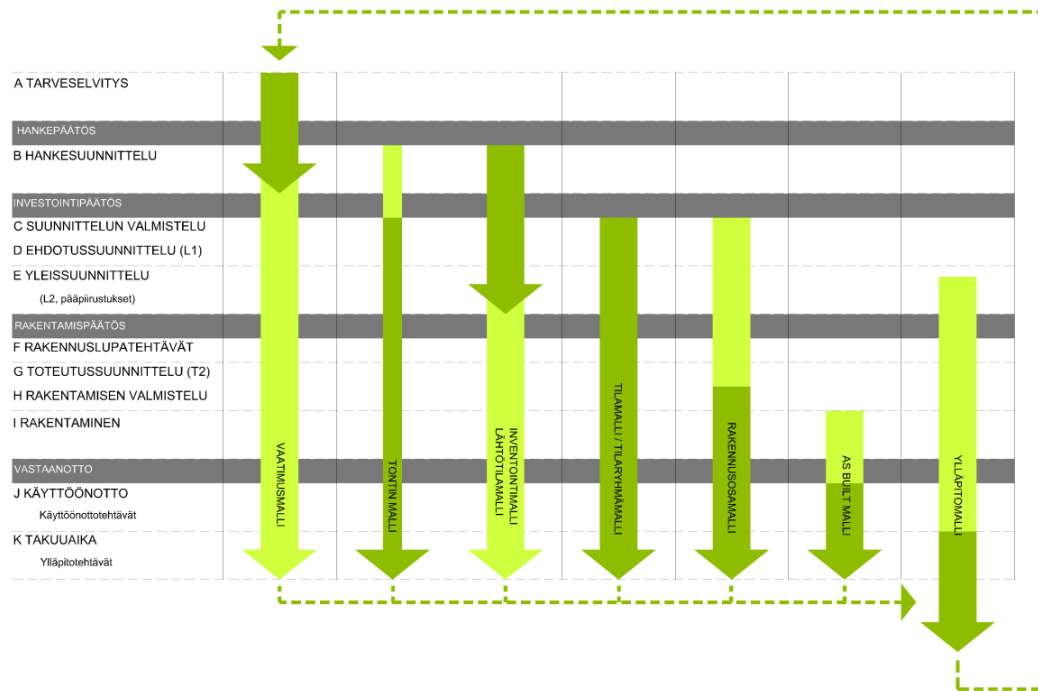
Lod 500 – tasoinen tietomalli kuvaa rakennettua omaisuutta niin kuin se on toteutettu (as-is) ja malli on määritelty keskitetyksi tietovarastoksi, joka voidaan kytkeä ylläpito- ja käytönohjausjärjestelmiin (Love 2013).

Suomessa yleisissä tietomallivaatimuksissa (YTV2012 osa 3) on määritelty mallintamisen tarkkuus kolmeen päätasoon:

Taso 1	Käyttötarkoitus on suunnittelijoiden välinen kommunikaatio ja suunnitelmien yhteensovittaminen; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti; rakennusosat on nimetty kuvaavasti.
Taso 2	Käyttötarkoituksina ovat hanke- ja luonnosvaiheissa energia-analyysit, rakentamisen valmisteluvaiheessa rakennusosapohjainen määrälaskenta; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti, rakennustyyppi on määritelty ja oikean niminen ja tuoteosat mallinnettu niin, että kappalemäärät ja muu oleellinen määrätieto saadaan tyypeittäin mallista.
Taso 3	Käyttötarkoituksina ovat työmaavaiheen aikataulutus ja hankinnat; sijainti ja geometria on mallinnettu vaatimusten mukaisesti, hankintaa varten oleelliset tiedot ovat attribuutti tms. kenttinä rakennusosissa ja ne voidaan listata.

2.2.5 Hankkeen tietomallirakenne

Suomessa toteutetut yleiset tietomallivaatimukset esittää hankkeen tietomallirakenteen Kuva 5 mukaisesti. Vaakasuunnassa esitetään yleisten tietomallivaatimusten mukaisten malli-tyyppien kattavuus rakennushankkeen eri vaiheille, jotka on sijoitettu pystyakselille (YTV 2012 osa 3).



Kuva 5. Hankkeen tietomallirakenne YTV 2012 mukaan.

Jäväjä (2016) huomioi, että varsinaisten kolmiulotteisten suunnittelumallien lisäksi tarvitaan vaatimusmalli tietomallipohjaisen prosessin lähtökohdaksi ja hankkeen lopussa syntyy ylläpitomalli päivitettyihin suunnittelumalleihin eli toteumamalleihin (as built –malli) pohjautuen.

YTV2012 määrittelee hankkeen eri vaiheissa käytettävät mallit seuraavasti (YTV2012, Jäväjä 2016):

Vaatusmalliin dokumentoidaan strukturoidussa muodossa tilantarpeet ja muut vaatimukset, kuten esimerkiksi tilakohtaiset kuormat ja muut rakenteelliset vaatimukset sekä talotekniset vaatimukset. Malli on usein taulukkomuotoinen.

Tontin mallissa esitetään tontin rajat, korkeusasemat, tarvittavat liittymät ympäristöön ja teknisiin järjestelmiin. Tarvittavat maaston tiedot saadaan maaston mittausaineistosta tai kartta-aineistosta. Mallia hyödynnetään tontin käytön suunnittelussa.

Inventointimallissa esitetään olemassa olevat rakenteet. Malli on käytössä lähinnä korjausrakentamisessa.

Tilamallissa tilan tunnistet ja käyttötarkoitukset on kytketty tilaobjekteihin. Jokainen tilaobjekti on kolmiulotteinen mallinnusosa, joka rajautuu tilaa ympäröiviin seiniin, lattiaan ja kattoon. Tilan pinta-alatiedot voidaan laskea tilan geometriasta. Tilaobjekteina ti-

lamallissa esitetään huonetilojen lisäksi rakennuksen ulkovaippa, rakennejärjestelmäehdotukset, perustusrakenne-ehdotus, TATE-järjestelmien palvelualueet, pääkanavistot, -hormit, merkittäviä tilavaatimuksia aiheuttavat putkistot, kaapelihyllyt ja muut tekniset järjestelmät sekä tekniset tilat. Tilamallilla voidaan muun muassa suunnitella ja havainnollistaa vaihtoehtoisia tilaratkaisuja, hallita hankkeen laajuutta, sen pohjalta voidaan tehdä investointilaskelmia, energia- ja olosuhdesimulointeja, tutkia TATE-järjestelmävaihtoehtoja ja palvelualueita, rakennejärjestelmävaihtoehtoja ja sopia rakenteiden järjestelmien tilantarpeista.

Tilaryhmämallissa keskeiset tilaryhmät esitetään tilaobjekteina ja rakennusmassat erikseen määritellyssä tarkkuudessa käyttötarkoituksesta riippuen. Malli soveltuu rakennuksen massoittelun tutkimiseen ja havainnollistamiseen sekä vaihtoehtojen vertailuun. Sitä voidaan käyttää pohjana laajuuteen ja massoitteeluun perustuvassa investointilaskennassa.

Rakennusosa- ja järjestelmämallit ovat keskeinen osa suunnittelua ja hankkeen tiedonhallintaa. Ne koostuvat geometriatiedon ja ominaisuustiedon sisältävistä objekteista. Arkkitehti mallintaa rakennusosamalliin tilat ja rakennusosat. Rakennesuunnittelijan rakennemalliin sisältyvät kantavat rakennusosat sekä erikseen sovittavat keskeiset ei-kantavat rakennusosat ja muut oleelliset rakennetekniset osat ja eristeet.

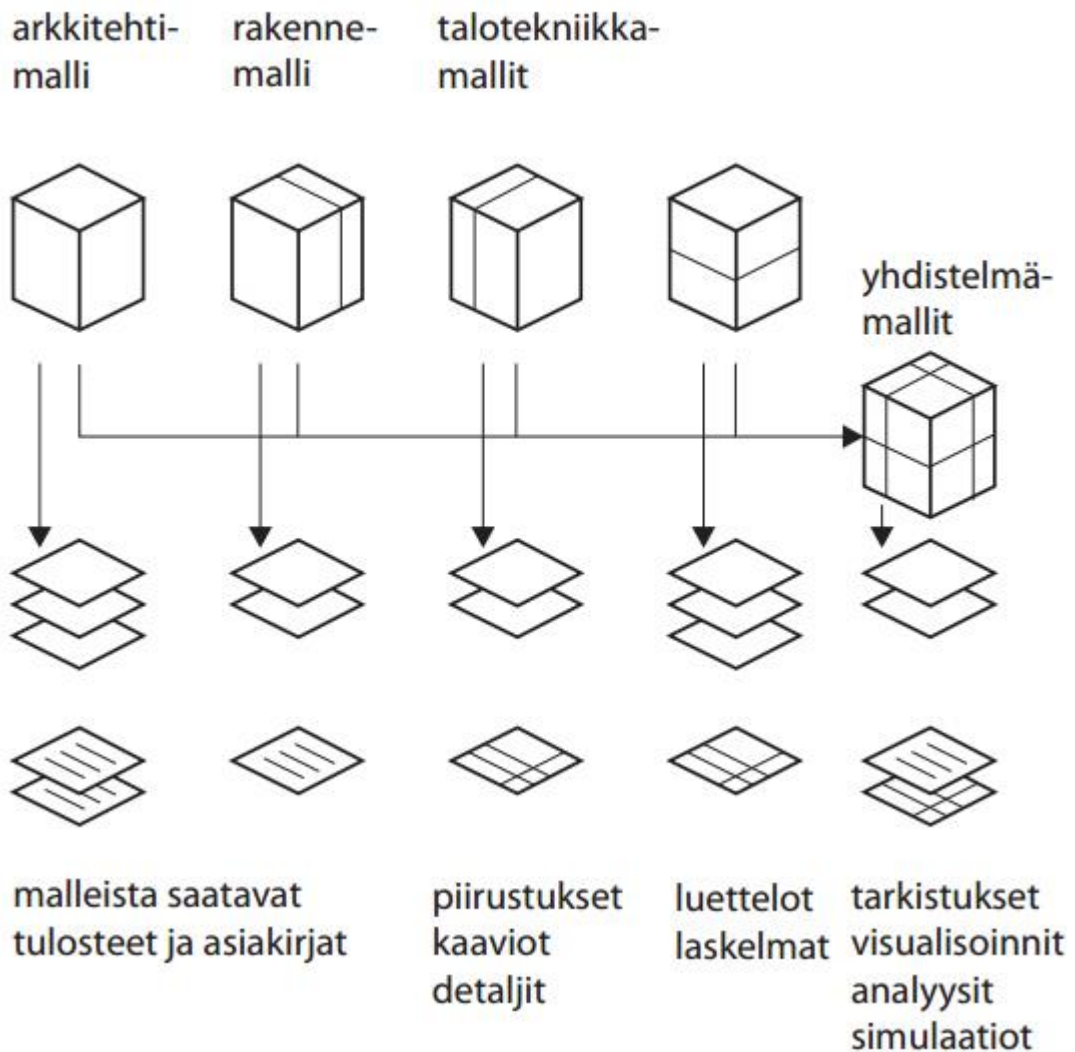
Tuotantomallilla tarkoitetaan työmaavaiheen tuotannonohjauksen lähtökohdaksi kootua mallikokonaisuutta, johon kootaan suunnittelijoiden tietomallit rakennuksesta, työmaan aluemalli, tietomallipohjainen putoamissuunnitelma, ja muut käytettävissä olevat mallit.

Toteumamalli on edellisen vaiheen tarkkuustasoa vastaava malli päivitettyinä toteutusta vastaavaksi. Sen tietoja voidaan käyttää mm. huollossa ja ylläpidossa, tilanhallinnassa ja myöhemmän käytön suunnittelussa.

Ylläpitomalleilla, tai ylläpidon tietomalleilla, tarkoitetaan hallitulla prosessilla ajan tasalla pidettäviä kiinteistön malleja, joita käytetään kiinteistön ylläpidossa. Niihin sisältyvät suunnitteluohjelmistojen alkuperäismallit, avoimen tiedonsiirron mallit, ylläpidon ohjelmistojen alkuperäismallit ja katseluohjelmien yhdistetyt mallit.

Eri suunnittelijoiden tuottamista malleista kootaan samaan koordinaatistoon yhdistelmämalli, jota käytetään vaikkapa yhteisesti koordinoituun päätöksentekoon ja törmäystarkasteluihin (RT 10-10992 2010). Kuva 6 on esitetty kaaviokuva tietomallin koostumuksesta.

Suunnittelijoiden tietomallit



Kuva 6. Eri suunnitteluosapuolten tuottamat tiedot yhdistetään hankkeen aikataulun tarkastuspisteissä yhdistelmämalliksi (RT-1010992 2010)

2.3 Tietomallintaminen, Lean-rakentaminen ja IPD

BIM-käsikirjan mukaan oikein toteutettu rakennuksen tietomallinnus ohjaa tiiviimpään ja integroidumpaan suunnittelu- ja rakennusprosessiin, jonka tuloksena rakennusten laatu paranee, kustannus laskee ja rakennusaika lyhenee. Tämän perusteella tietomallinnus näyttää luovan pohjan joillekin niistä tavoitteista, joita lean – rakentamisen odotetaan mahdollistavan. Vaikka Lean – rakentaminen ja rakennuksen tietomallinnus voidaan toteuttaa toisistaan riippumatta, rakennushankkeiden parantaminen mahdollistuu täysin vain kun niiden soveltaminen yhdistetään, kuten integroidussa projektituotannossa (Sacks 2010).

Lean ajattelun keskiössä oleva hukka (waste) on käsitteenä laaja, mutta sen ymmärtäminen on helpompaa kun se jaetaan lajeihin. Kuva 7 esittelee lyhyesti leanin kahdeksan hukan lajia, joita on helppo soveltaa myös rakentamiseen (Sarhan 2015).



Kuva 7. Lean, hukan kahdeksan lajia (Sarhan 2015)

Rakennusteollisuuden tuottavuus ei ole kehittynyt viime vuosikymmeninä läheskään samalla tasolla kuin muussa teollisuudessa. Yhdysvaltalaisen The Construction Industry Institute:n (CII) raportissa (Diekman 2004) kysytään, miksei rakennusteollisuudessa voitaisi soveltaa lean-periaatteita ja esitellään lean-rakentaminen. Lean-rakentamisella lienee monia määritelmiä, mutta esimerkiksi CII käyttää seuraavaa (vapaasti suomennettua) määritelmää:

”Lean-rakentaminen on jatkuva prosessi turhan eliminoimiseksi, asiakkaan vaatimusten saavuttamiseksi tai ylittämiseksi, keskittyen koko arvoketjuun tavoitellen täydellisyyttä rakennushankkeen toteutuksessa.”

Tämä määritelmä pitää sisällään useita leanin perusteita, kuten jatkuvan parantamisen, asiakkaan tarpeeseen keskittymisen ja hukan poistaminen. Diekmanin (2004) mukaan monet leanin periaatteet voidaan tulkita etukäteissuunnittelukyvyyn ja joustavuuden lisäämiseksi sekä organisaatorakenteen kehittämiseksi. Lean ei siis tarkoita työkaluja ja

sääntöjä, vaan kyseessä on käytösmalli ja ajattelutapa, joka on yhteinen kaikille toimijoille koko arvoketjussa. Lean-rakentaminen voidaan käsittää lean-menetelmien soveltamisena rakennusosalalle.

Projektituotantoon sovellettuna lean-rakentaminen tiivistyy edellä mainittuihin periaatteisiin:

- Asiakas saa juuri sitä mitä haluaa (Arvon maksimointi).
- Projektin toimittamisesta eliminoidaan kaikki tarpeeton (Hukan poistaminen)
- Pyritään täydellisyyteen (Jatkuva parantaminen)

Suuria eroja perinteisten projektinjohtotapojen ja lean-rakentamisen välillä on esimerkiksi valvonnassa, työsuorituksen lähestymistavassa, suorituskyvyn mittaamisessa sekä asiakastytyvääisyydessä. Esimerkiksi valvonnan osalta perinteisessä rakentamisessa keskitytään aikataulu- ja kustannusennusteisiin, kun taas lean-rakentaminen määrittelee valvonnan ”tapahtumien saattamiseksi suunnitelmien mukaisiksi”. (Marjasalo 2010)

Lean-ajattelun soveltamista rakentamiseen myös kritisoidaan myös voimakkaasti. Esimerkiksi rakennusosalalla laajalti tunnettu ja arvostettu ajattelija Graham Winch sanoo lean-rakentamisen olevan vain uusi byrokratian muoto, ja että se ei sovellu yksilöllisiin projekteihin, vaan taustansa takia niin sanottuun korkean volyymin rakentamiseen (Winch 2010).

Lean – rakentamisen ja rakennuksen tietomallintamisen välillä on merkittävää synnergiaa, sillä BIM ohjaa noudattamaan Leanin periaatteita. Hyviä esimerkkejä tällaisista ovat esimerkiksi tietomallintamisesta seuraava suunnitteludokumenttien välisten ristiriitaisuuksien väheneminen ja kommunikaation parantuminen ja nopeutuminen (Fleming 2016).

Integroitu projektituotanto (tai integroitu projektitoimitus, integrated project delivery, IPD) pyrkii luomaan yhteistoiminnallisen lähestymistavan rakennushankkeeseen. Yhdysvaltain arkkitehtien instituutti (The American Institute of Architects, AIA) määrittelee integroidun projektituotannon menetelmäksi, joka yhdistää liiketoiminnan, ihmiset, järjestelmät ja käytännöt prosessiksi, joka valjastaa kaikkien projektissa mukana olevien osapuolten taidot ja tiedot projektin optimaalisen lopputuloksen saavuttamiseksi, lisäarvon tuottamiseksi, hukan poistamiseksi ja maksimaalisen tehokkuuden saavuttamiseksi läpi kaikkien hankkeen vaiheiden. Yleisesti IPD-sopimuksissa on mukana sellaisia elementtejä, jotka ohjaavat tiimityöhön ja palkitsevat kaikkia osapuolia projektin onnistumisesta. Riskit ja palkkiot jaetaan kaikille projektinosapuolille ennalta sovitussa suhteessa. Kaikkien osapuolten aikainen mukaantulo projektiin, jopa jo esisuunnitteluvaiheessa, tehostaa työtapoja ja vähentää tekemisen ja vastuiden sirpaloitumista (Kent 2010).

IPD:n ytimessä voidaan sanoa olevan monipuolisen osaamisen, järjestelmien ja liiketoimintakäytäntöjen aikainen osallistaminen ja yhteen liittäminen. Integroidussa projektituotannossa jo aikaiseen suunnitteluvaiheeseen pyritään siis tuomaan mukaan monipuolista osaamista, joka muissa toimintamalleissa on totuttu näkemään vasta myöhemmin. IPD voidaan tulkita yhtä paljon filosofiaksi kuin projektitoimitusmalliksi. (Lahdenperä 2012).

Vaikka edellä mainittu yhteistoiminta on tietenkin mahdollista ilman erityisiä teknisiä välineitä, voi esimerkiksi rakennuksen tietomallintaminen edistää merkittävästi yhteistyön tehokkuutta. Integroidun projektituotannon synnyttämän ilmapiirin on havaittu olevan juuri oikeanlainen rakennuksen tietomallinnuksen mahdollistamiseksi. BIM:n ja IPD:n yhdistämisen mahdollistama yhteistoiminnan taso luo tehokkuuden lisäämisen ja virheiden vähentämisen lisäksi jopa uusia liiketoimintamahdollisuuksia (Kent 2010).

2.4 Omaperusteinen asuntotuotanto

Perustajaurakointiliiketoiminnalla tarkoitetaan toimintaa, jossa rakennusliike suunnittelee, markkinoi, tuottaa ja myy asuntoja sekä liike- ja toimistotiloja siten, että ostaja saa hallintaoikeuden ko. tiloihin hankkimalla omistukseensa kohdeyhtiön osakkeita (Kirjanpitolausokunnan yleisohje 2006).

Oikeudellisesta näkökulmasta myytävien tilojen tuotanto- ja myyntiprosessia voidaan kuvata seuraavasti (Kirjanpitolausokunnan yleisohje 2006):

1. Rakennusliike hankkii tontin perustettavan kohdeyhtiön lukuun.
2. Rakennusliike laatii rakennettavaa rakennusta koskevat suunnitelmat ja markkinoi kohdetta loppukäyttäjille.
3. Rakennusliike perustaa kohdeyhtiön ja siirtää tontin kohdeyhtiölle tämän tultua merkityksi kaupparekisteriin.
4. Rakennusliike solmii rakennushanketta koskevat sopimukset kohdeyhtiön kanssa ja suorittaa rakentamispalvelun. Kohdeyhtiön nimissä laaditaan tarvittaessa asuntokauppa-asetuksen 3 §:ssä määritelty taloussuunnitelma sisältäen mm. kohteen rakennus- ja rahoitussuunnitelman.
5. Rakennusliike järjestää tarvittavan rahoituksen kohdeyhtiölle ja solmii tarvittaessa asuntokauppalain mukaiset sopimukset rahoituslaitoksen ja vakuutusyhtiön kanssa. Rakennuskohteen ja kohdeyhtiölle hankitun tontin rahoitus tapahtuu osin kohdeyhtiön omalla (rakennusliikkeen tekemillä osakepääoma- ja rakennusrahasijoituksilla kohdeyhtiöön) sekä yleensä myös osin vieraalla pääomalla (kohdeyhtiölle otettavilla lainoilla).
6. Rakennusliike myy kohdeyhtiön huoneistojen hallintaan oikeuttavat osakkeet. Osakemyyntiä tapahtuu pääsääntöisesti jo rakennusaikana.

Pekkanen (2005) mainitsee väitöskirjassaan rakennushankkeen asiakkuuden ja asiakaslähtöisen toimintatavan tärkeimmiksi menestys – ja uhkatekijöiksi tilaajien ja urakoitsijoiden näkökulmasta seuraavat pääkohdat:

Menestystekijät:

- Avoin kommunikaatio
- Systemaattinen tiedonvaihto
- Yhteinen ongelmanratkaisu
- Selkeästi määritellyt, yhteisesti hyväksytyt tavoitteet
- Osapuolten kyky saavuttaa asetetut tavoitteet
- Molemminpuolinen osallistuminen liikesuhteen kehittämiseen

Uhkatekijät:

- Epäselvät tai puutteelliset sopimukset
- Yhteisten tavoitteiden puuttuminen
- Heikko osaprosessien hallinta
- Puutteellinen tiedonkulku ja yhteistyö

2.5 Tietomallintamisen hyödyt asuntotuotannossa

Rakennuksen tietomallintamisen hyötyjä on teoretisoitu paljon kirjallisuudessa ja tieteellisissä artikkeleissa ja jonkin verran on jo löydettävissä myös esimerkkitapaustutkimuksia. Ehkä yleisimmin hyötynä mainitaan, että rakennuksen tietomallintaminen voi parantaa rakennushankkeen tehokkuutta ja alentaa kustannuksia mahdollistamalla suunnitteluvirheiden vähentämisen ja parantamalla muutoksenhallintaa.

Rakennukset ovat monimutkaisia kokonaisuuksia, joiden toimivuuteen vaikuttavat monet seikat. Toimivuutta ei kuitenkaan voida arvioida ennen rakennuksen valmistumista, koska perinteisesti prototyyppi rakennetaan tontille ja testaus jää loppukäyttäjille. Rakennuksen tietomallintaminen mahdollistaa äärettömän määrän piirustuksia, kuten laikkauksia ja näkymiä. Tietomallin avulla on helppo ymmärtää millainen rakennus on toimivana kokonaisuutena ja hahmottaa yksityiskohtaisesti, miltä rakennus näyttää. Tietomallia voidaan ajatella virtuaalisena rakennuksena ja prototyyppinä, joka sisältää kaiken tiedon suunnittelun eri alueilta, kuten arkkitehtuurista, tilaratkaisuista, rakenteista, talotekniikasta ja ympäröivästä alueesta. Suurimmat hyödyt rakennuksen tietomallintamisesta saadaan, kun tietomallintaminen tehdään koko rakennuksen elinkaaren aikana tarveselvityksestä alkaen (Jäväjä 2016).

Rakennushankkeen tehokkuuden parantaminen ja kustannusten laskeminen edellyttää BIM:n käytön lisäksi paneutumista virheiden perussyihin sekä toimintatapojen ja proses-

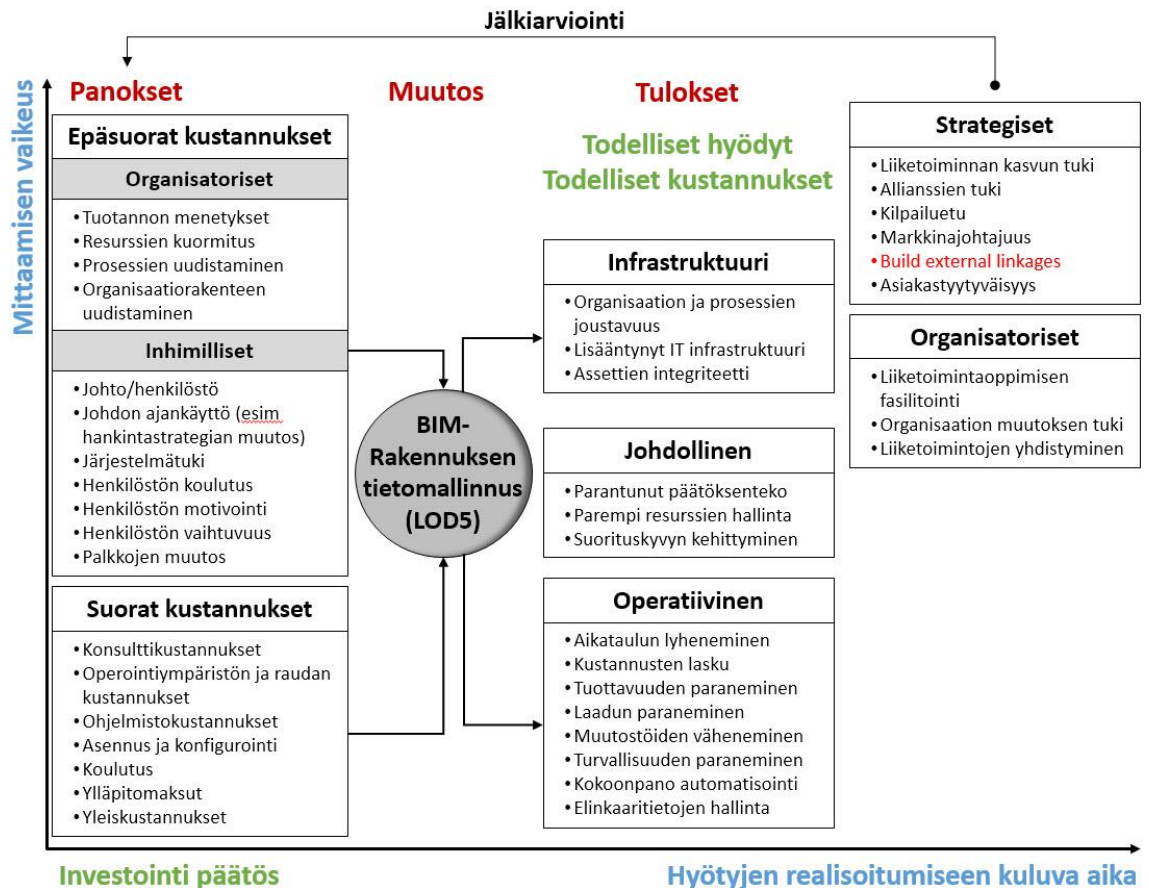
sien kehittämistä, muuten on vaarana, että piilevät epäonnistumisen riskit rakentuvat mukaan yrityksen toimintaan. Tietomallintamiseen ei saa suhtautua ”taikakaluna”, joka ratkaisee organisaation ja projektin ongelmat (Love 2011). Toisaalta erittäin laajalti havaittavissa olevan näkemyksen, kuten myös useiden rakennuksen tietomallinnuksen määritelmien, mukaan BIM ei ole pelkkä teknologia ja ohjelmistot, vaan se on myös prosessin kehittämismenetelmä.

Dakhil (2016) listaa Iso-Britanniaan keskittyvässä tutkimuksessaan rakennuksen tietomallintamisen hyöty/kypsyysaste – suhteesta tietomallintamisen yleisiä hyötyjä seuraavasti:

1. Parantunut informaation hallinta
2. Parantunut projektisuunnittelu
3. Parantunut kommunikaatio
4. Tehostunut prosessien integraatio
5. Projektin laadun paraneminen
6. Päätöksentekoprosessin paraneminen
7. Projektin kokonaiskeston parempi hallinta
8. Projektin kustannushallinnan paraneminen
9. Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen (RFI) väheneminen
10. Muutostöiden väheneminen
11. Materiaalikustannusten lasku
12. Vähentyneet muutostyöt
13. Hankkeen osapuolten parantuneet suhteet
14. Tiedon saatavuuden paraneminen
15. Tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus
16. Takuutöiden väheneminen

Peter Loven (2013) mukaan lukuisat viimeisten 10 vuoden aikana tehdyt tutkimukset osoittavat, että rakennuksen tietomallintamisella voidaan saavuttaa laaja-alaisesti hyötyjä, esimerkiksi estää kustannusten nousu ja aikataulujen venyminen, vähentää muutostöitä, lyhentää työkulujen läpimenoaikaa ja vähentää virheiden määrää suunnitelmissa.

Kuva 8 esitetään Loven (2013) tutkimuksessa kirjallisuudesta selvitettyjä rakennuksen tietomallinnuksen kustannuksia ja hyötyjä jaettuna kategorioihin sijoitettuna mittaamisen vaikeuden (Y-akseli) ja realisoitumisajan (X-akseli) suhteen.



Kuva 8. Rakennuksen tietomallinnuksen hyötyjen realisoituminen ja mittaaminen, mukailtu (Love 2013).

Tietomallintamiseen ryhtyminen synnyttää sekä epäsuoria että suoria kustannuksia. Epäsuorat kustannukset jakaantuvat organisatorisiin ja inhimillisiin kustannuksiin. Käytön aikana syntyvät hyödyt on jaettu viiteen kategoriaan:

- Strateginen
- Operatiivinen
- Infrastruktuuri
- Johto
- Organisatorinen

Epäsuorien kustannusten mittaaminen on vaikeaa ja siihen ei useinkaan panosteta. Suorat kustannukset, kuten vaikkapa koulutus ja lisenssimaksut, sen sijaan on helppo määrittellä. Hyödyistä helpommin mitattavissa ovat operatiiviset hyödyt, kuten esimerkiksi muutostöiden määrän vähentyminen (Love 2013).

Suunnittelutoimistot tarkastelevat tietomallinnuksen käyttöönoton kuluja yleensä ohjelmistojen hankinnan ja käyttäjien koulutuksen kautta. Todellisuudessa edellä mainittujen osuus kokonaiskustannuksista on vain jäävuoren huippu, sillä pääasialliset kustannukset

syntyvät kulttuurin muutokseen liittyvästä koulutuksesta ja muutoksen hallinnasta, sillä tietomallintaminen ei tarkoita vain jonkin ohjelmiston käyttöä (Chelson 2010).

Loven (2013) mukaan hänen tutkimuksensa julkaisuun mennessä ei hänen mukaansa ole tehty kuin yksi kunnollinen empiirinen tutkimus rakennuksen tietomallinnuksen operatiivisista hyödyistä, jolla pystyttiin kvantifioimaan rakennesuunnittelussa ja detaljikuvien tuottamisessa saatua säästöä, joka oli 14 – 41 % työtunneista. Peter Love mainitsee myös toisen tutkimuksen, jossa arvioitiin 32 Yhdysvaltalaisesta hanketta, joissa oli käytetty rakennuksen tietomallinnusta. Yhteenvetona näistä hän mainitsee seuraavat tuottavuuden paranemiset:

- Aikataulun lyheneminen 7 %:lla
- 10 % säästö törmäystarkastelujen käytöllä
- Budjetoimattomien muutosten väheneminen 40 %:lla
- Kustannusarvion laskemiseen 3 %:n tarkkuudella käytetyn ajan lyheneminen 80 %:lla.

Etelä-Kalifornia yliopiston haastattelututkimuksessa todettiin, että 41 % 424:stä tutkimukseen vastanneesta arvioi projektien kannattavuuden lisääntyneen tietomallintamisen käyttöönnoton seurauksena. Erityisesti katteiden parantamisesta kertoivat sellaiset yhtiöt, joilla oli ennestään kokemusta BIM:n käytöstä. Toisaalta 73 % niistä vastaajista, jotka olivat ottaneet tietomallinnuksen käyttöön kaikkiin projekteihinsa, sanoi kannattavuuden parantuneen. Tutkimukseen vastanneet rakennusalan ammattilaiset sanoivat BIM:n käytön lyhentäneen projektien kestoa keskimäärin 12,5 %. (Becerik-Gerber 2010).

Pennsylvanian yliopiston (Pennsylvania State University, PSU) ja BuildingSMART Alliancen hankkeessa syntynyt BIM – opas luettelee 25 erilaista tietomallintamisen käyttöaluetta (BuildingSMART 2011). Penn State:n tutkimuksessa Ralph Kreider ja John Messner kysyivät tutkimukseen osallistujilta kuinka usein yleisesti vastaajien organisaatio käytti rakennuksen tietomallinnusta edelle mainittuihin tehtäviin ja toisaalta, kuinka suureksi he arvioivat organisaationsa rakennuksen tietomallinnuksesta saaman hyödyn kunkin osa-alueen osalta. Taulukko 1 esittää tutkimuksen tulokset BIM:n osa-alueittain järjestettynä arvioidun hyödyn mukaisesti suurimmasta pienimpään. Selkeästi sekä yleisin että arvioidusti eniten hyötyä tuottava osa-alue oli vastaajien mukaan 3D koordinointi, joka aiemmin mainitun BIM-oppaan mukaan tarkoittaa muun muassa törmäystarkastelua. Seuraavaksi korkeimmalla tuloksissa on suunnittelukatselmointi. Tutkijat mainitsevat erikseen, että kustannusarvio - osa-alueen hyödyistä saatiin eniten yksittäisiä negatiivisia vastauksia, vaikka se kokonaisuutena nousikin aika positiiviseksi (Kreider 2010, BuildingSMART 2011).

Taulukko 1. Pennsylvania State Universityn kyselytutkimuksen vastauksia BIM:n osaluueiden käyttöaktiivisuudesta ja arvioidusta hyödystä (Kreider 2010).

BIM-aktiviteetti	Käyttötiheys		Hyötytaso	
	Keskim. tiheys [%]	Vastausten mediaani [%]	Arvioitu hyödyn määrä	Vastausten mediaani
Törmäystarkastelu	60,4	75	1,6	Erittäin positiivinen
Suunnittelukatselmointi	53,5	50	1,37	Erittäin positiivinen
Inventointimallintaminen	35,2	25	1,16	Positiivinen
4D-mallinnus	29,6	5	1,15	Positiivinen
3D suunnittelu ja kontrolli	34,4	15	1,09	Positiivinen
Tuotantosuunnittelu	37,0	25	1,09	Positiivinen
Tietomallintaminen	42,2	25	1,03	Positiivinen
Työmaan suunnittelu	28,2	5	0,99	Positiivinen
Tilaohjelmointi	30,7	25	0,97	Positiivinen
LEED arviointi	23,0	5	0,93	Positiivinen
Energia-analyysi	25,4	5	0,92	Positiivinen
Kustannusanalyysi	24,7	5	0,92	Positiivinen
Rakenneanalyysi	26,8	5	0,92	Positiivinen
Toteumamallinnus	28,2	5	0,89	Positiivinen
Esivalmistus	14,4	0	0,89	Positiivinen
Rakennuksen jälkianalysointi	22,3	5	0,86	Positiivinen
Massoittelu	27,7	5	0,85	Positiivinen
Kiinteistönhallinta	21,4	0	0,78	Positiivinen
Määräystenmukaisuustark.	18,9	0	0,77	Positiivinen
Valaisusuunnittelu	16,9	5	0,73	Positiivinen
Rakennesuunnittelu	20,9	0	0,67	Positiivinen
Muut simuloinnit/analyysit	14,7	0	0,59	Positiivinen
Asset Management	9,6	0	0,47	Neutraali
Kiinteistön ylläpidon ajoitus	4,6	0	0,42	Neutraali
Katastrofisuunnittelu	3,6	0	0,26	Neutraali

2.6 Rakennuksen tietomallintamisen hyödyt rakennushankkeen eri vaiheissa

Seuraavassa esitellään kirjallisuudessa ja tieteellisissä artikkeleissa esiintyviä rakennuksen tietomallinnuksen hyötyjä jaoteltuna rakennushankkeen vaiheisiin, jotka ovat (Kankainen & Junnonen 2000):

- tarveselvitys
- hankesuunnittelu
- rakennussuunnittelu
- rakentaminen

- käyttöönotto

Perustajaurakoinnissa tarveselvitys – vaihe usein yhdistyy myynti ja markkinointivaiheeseen.

2.6.1 Myynti ja markkinointi

Hankkeen tietomallintaminen auttaa tarjouksen oikeellisuuden, tarkkuuden ja ytimekkyyden parantamisessa (Gilkinson 2015).

Douglas Chelson (2010) tutki Marylandin yliopistolle tekemässään väitöskirjassa rakennuksen tietomallinnuksen käyttöönoton vaikutuksia kahdeksassa eri tapauksessa. Layton Constructionin mukaan heidän alettua käyttämään rakennuksen tietomallinnusta yritys on alentanut tarjoushintojaan, mutta heidän lopullinen laatunsa on parantunut. Layton kokee, että mitä enemmän he käyttävät tietomallinnusta, sitä halvemmaksi, nopeammaksi ja paremmaksi se tulee. Samoin heidän mukaansa BIM parantaa toimintaa kaikilla osa-alueilla; kustannukset laskevat, aikataulu nopeutuu ja laatu paranee (Chelson 2010).

2.6.2 Hankesuunnittelu ja hankepäätös

Suunniteltaessa rakennusta on korkealaatuisen ja parhaan lopputuloksen saavuttamiseksi tärkeätä, että kaikki osapuolet ymmärtävät toisiaan, osallistuvat, kommunikoivat ja tekevät yhteistyötä. Yleisin syy kommunikointivaikeuksiin on suunnittelukulttuurien erilaisuus yhdistettynä heikkoon tiedonjakamiseen ja yhteistyön puutteeseen. Rakennuksen tietomallintaminen avaa uusia mahdollisuuksia tässä suhteessa, sillä alusta asti oikein tehty tietomalli on erinomainen välinen yhdessä eri osapuolten ja asianomistajien kesken tarkastella suunnitelmia ja tehdä ehdotuksia. Tietomallista on jo nykyään mahdollista tehdä reaaliaikaisia visualisointeja ja virtuaalitodellisuutta, jolloin taustaltaan ja osaamisalueiltaan erilaiset asianomistajat voivat helposti havainnoida esimerkiksi tilojen toimivuutta tai ulkonäköä (Johansson 2016).

Kuva 9 on esimerkki tietomallin hyödyntämisestä 3D-kuvien luomisessa. Koska kuva luodaan suoraan tietomallista, näkyvät tietomallin muutokset kuvassa välittömästi. Tämä nopeuttaa merkittävästi vaihtoehtojen tarkastelua ja mahdollistaa vaikkapa testikohderyhmien (focus group) käyttämisen ratkaisujen valinnoissa.



Kuva 9. Kuvakaappaus reaaliaikaisesta renderöinnistä, joka on tehty Bimxplorer-laajennuksella laajasta Revit-mallista (Johansson 2016, www.bimxplorer.com)

Eräissä tapauksista Layton Construction rakensi samanaikaisesti kaksi suurin piirtein yhtä suurta, pinta-alaltaan noin 23 000m², sairaalaa Etelä-Kaliforniaan. Toinen sairaaloista tietomallinnettiin täysin ja toista ei mallinnettu ollenkaan. Tietomallinnettu valmistui kaksi kuukautta aikataulusta edellä ja mallintamaton saman verran aikataulusta jäljessä. Eräänä syynä tähän oli Laytonin edustajan mukaan, että rakennuksen tietomallinnus auttaa projektiryhmän rakentamisessa ja rohkaisee avoimeen kommunikointiin osapuolten välillä (Chelson 2010).

Chelson (2010) kuvaa erästä IPD-metodia käyttävää hanketta, jossa omistaja on päättänyt tietomallintaa koko hankkeen ennen kuin rakennuskustannuksia alkaa syntyä. Investoimalla arviolta 5 % koko projektin kustannuksista tietomallintamiseen omistaja uskoo säästävänsä rakennusvaiheessa sekä aikaa että rahaa vähentyneinä ristiriitoina ja virheinä. Alusta asti suunnitteluryhmässä mukana olevat eri alojen edustajat tekevät työnsä samassa sijainnissa, joka mahdollistaa jatkuva koordinoinnin ja törmäystarkastelukäytännöt. Projektiryhmän palkkiotasoon vaikuttaa suunnittelun tarkkuus. Varsinaisen rakentamisen hinnan määrittelevät pääurakoitsijat ja omistaja yhdessä malliin perustuen. Tarkoitus on rakentaa niin vahva luottamus toisiin ja yhteiseen tietomalliin, että heikkoa tuottavuutta ennakoivat erät jäävät pois kustannusarviosta. Tietomalli tehdään 5D-tasoon eli siinä on mukana aikataulu ja kustannukset. Hankkeen omistaja (rakennuttaja) on erittäin kokenut ja arvioi, että käyttämällä hankkeen budjetista 3-4 prosenttiyksikköä enemmän tietomallipohjaiseen suunnitteluun verrattuna perinteiseen 2D-suunnitteluun, se pystyy käytännössä eliminoimaan muutostyöt rakentamisen aikana. Omistajan mukaan muutos-

työt aiheuttavat tyypillisesti 10 % hankkeen kokonaiskustannuksista. Käyttämällä hankkeen alussa rahaa ylimääräiseen suunnitteluun – yksityiskohtaiseen mallintamiseen – hankkeen omistaja arvioi säästävänsä 6-7 % projektin kokonaiskustannuksista.

Rakennuksen tietomallintamisen (BIM) ja paikkatietojärjestelmien (Geographical Information Systems, GIS) yhdistäminen voi auttaa projektissa esimerkiksi rakennuksen sijoittelussa tai suunniteltaessa vanhan rakennuksen purkamista. 3d-laserskannauksen kehittyminen mahdollistaa olemassa olevien rakenteiden tarkan määrittämisen ja paikoittamisen ja niiden yhdistämisen rakennuksen tietomalliin, täten helpottaen esimerkiksi korjaushankkeiden tai rakennusten jalostamisprojektien mallinnusta. Kuva 10 on esimerkki 3d-skannattujen olemassa olevien taloteknisten järjestelmien yhdistämisestä rakennuksen tietomalliin (Azhar 2012).



Kuva 10. 3d-skannatut olemassa olevat talotekniset rakenteet yhdistettynä rakennuksen tietomalliin (Azhar 2012)

Todellisen, kehittyvän mallin käyttö yhteydenpidossa asiakkaan tai loppukäyttäjän kanssa auttoi heitä saamaan paremman ymmärryksen rakennuksen yksityiskohdista ja eri vaihtoehtoista, joilla rakennuksen arvoa ja laatua voi parantaa, käyttö- ja rakennuskuluja pienentää sekä energian kulutusta laskea (Gilkinson 2015).

Eräissä tutkimuksissa havaittiin, että noin 12 miljoonan dollarin tietomallinnetussa hankkeessa rakennuttaja säästi arviolta kaksi miljoonaa dollaria luonnosvaiheessa, jossa luotiin kolme erilaista vaihtoehtoa ja niille kullekin kustannusarviot. Prosessi kesti vain kaksi viikkoa, jonka kuluessa rakennuttajan edustajat pystyivät tutustumaan virtuaalisesti vaihtoehtoihin ja päättämään niistä tarpeisiinsa sopivimman ja kustannustehokkaimman. Toki on mahdollista, että rakennuttaja olisi perinteisiä piirustuksia käytettäessäkin päätenyt samoihin ratkaisuihin, auttoi BIM:n käyttö kuitenkin tekemään nopean ja selkeän päätöksen. Saman tutkimuksen mukaan kyseisen rakennusfirman kymmenessä projektissa BIM:n käytön takaisinmaksuprosentti (return of investment, ROI) oli 140 % ja 39900 % välillä, keskiarvon ollessa 1633% (Azhar 2011).

2.6.3 Suunnittelu

Suunnittelussa tarvitaan vähemmän luonnostelukierroksia, kun ihmissuhteet, keskustelut ja sitoutuminen parantuvat helpottaen tavoitteiden saavuttamista liittyen esimerkiksi tavoitekustannuksessa pysymiseen ja suunnitteludokumentaation tekemiseen tarvittavaan aikaan. Joissakin tapauksissa havaittiin käytännössä, kuinka tietomallintaminen parantaa suunnittelukulttuuria helpottamalla ja lisäämällä osapuolten välistä kommunikaatiota. Näin esimerkiksi havaitut virheet tai ongelmat saatiin tuotua nopeasti esiin ja ratkaistavaksi, ilman perinteistä syytelyä tai vastuun välttelyä. Tämäkin korostaa rakennuksen tietomallinnukseen liittyviä prosessin tai metodologian kaltaisia piirteitä. (Gilkinson 2015).

Rakennuksen tietomallintaminen parantaa yleisesti suunnittelun laatua ja lisää innovatiivisuutta, sillä BIM:n käyttäminen nopeuttaa ja helpottaa vaihtoehtojen vertailua mahdollistamalla monipuolisen ja tarkan simuloinnin (Azhar 2011).

Erään tutkimuksen mukaan tietomallinnuksen käytöllä voidaan säästää 21 – 61 % työtunneista, joita tarvitaan piirustusten tuottamiseen ja määrälaskentaan, kun kyseessä on suhteellisen toistuvat kerrokset ja 55 % kun kyseessä on iso ja vaihteleva kerroksinen rakennus. Saman tutkimuksen mukaan piirustusten tuottamiseen käytetään keskimäärin noin 60 % rakennesuunnittelutunneista. Asuintaloissa piirustusten tuottamiseen voi kulua jopa yli 70 % rakennesuunnittelutunneista (Sacks 2008).

Eräs Chelsonin tutkimuskohde on Pohjois-Amerikan toiseksi suurin vähittäiskauppa, Targettia (Target Corporation), jolla oli tutkimusajankohtana kokemusta kymmenestä rakennuksen tietomallinnushankkeesta, kooltaan kahdesta 200 miljoonaan dollariin. Tärkeä havainto Targetilta on, että suunnittelukustannukset eivät nousseet verrattuna perinteiseen tapaan käyttää 2D-kuvia. Aineistopyyntöjen (Request For Information, RFI) määrä putosi edellä mainituissa hankkeissa vähintään 90 % verrattuna Targetin aiempiin hankkeisiin. Target ei paljasta tuottavuuden kasvulukuja, mutta sanoo, että kokemuksiensa perusteella se jatkaa hankkeidensa tietomallinnusta (Chelson 2010).

Toinen tutkimustapaus on Layton Construction Company, joka vuonna 2016 on Yhdysvaltain 57:ksi suurin rakennusyhtiö 1,2 miljardin dollarin liikevaihdollaan. Layton tietomallintaa suurimman osan hankkeistaan ja 100 % sairaalaprosjekteistaan. Aineistopyyntöjen määrä putosi Laytonillaakin tietomallinnusta käytettäessä 90 %. Esimerkiksi lähes 8000m² sairaalahankkeessa tehtiin vain 15 aineistopyyntöä, tavanomaisen määrän ollessa satoja. Yrityksessä arvioidaan keskimääräisen aineistopyynnön aiheuttavan 400 dollarin kustannukset, jolloin syntynyt säästö voisi olla 40 000 dollarin luokkaa (Chelson 2010).

Eräässä tutkitussa tapauksessa Australialainen Arup, joka on suunnitellut muun muassa Sydneyn oopperatalon, osallistui Sydneyn keskustaan rakennetun kustannusarvioltaan noin 270 miljoonan Australian dollarin 28 – kerroksisen toimistorakennuksen suunnitteluun, vastuualueenaan talotekniikkaa ja julkisivu. Hanke tehtiin täysin tietomallinnettuna. Mallinnuksen havaittiin lisäävän läpinäkyvyyttä ja osapuolten luottamusta toisiinsa. Hankkeen konsultit ja urakoitsijat mainitsevat erääksi mallintamisen tärkeimmäksi hyödyksi visualisoinnin. Tarkat yksityiskohdat olivat tietomallin kautta eri osapuolten saatavilla lisäten materiaalitoimitusten oikea-aikaisuutta (Gilkinson 2015).

2.6.4 Rakentaminen

Eräässä tutkitussa tapauksessa yhdistämällä 3d-malli valmistus- ja tuotantoprosessiin voitiin kehittää automatisoitu tuotantolinja rakennuselementtien kokoamiseen. Tämä lisäsi projektin kustannusvarmuutta ja samalla vähensi koordinaatioongelmia työmaalla. Tietomallintaminen johtaa rakennettavampaan suunnitteluratkaisuun, jossa myös rakentamisen logistiikka on harkittu alusta pitäen. Toisessa tutkimuskohteessa neljän korkean asuinrakennuksen teräsbetonin raudoitukset mallinnettiin yksityiskohtaisesti tavoitteena pienentää hankkeen aikataulua ja kustannuksia samalla parantaen sen laatua. Mallinnuksen avulla voitiin tehdä korkealaatuinen törmäystarkastelu, joka todellakin vähensi yhteensopivuusongelmia ja paransi työmaan logistiikkaa, kuten esimerkiksi varastointia, nosturin käyttöä ja luokse pääsyä. Rakentajilla oli ennen työn alkamista käytettävissään 3D PDF-tiedostot rakenteesta, joten he pystyivät tekemään muutoksia suunnitelmiinsa ennen kuin työt alkoivat. BIM-mallin avulla seurattiin edistymistä ja työn vaiheistusta (Gilkinson 2015).

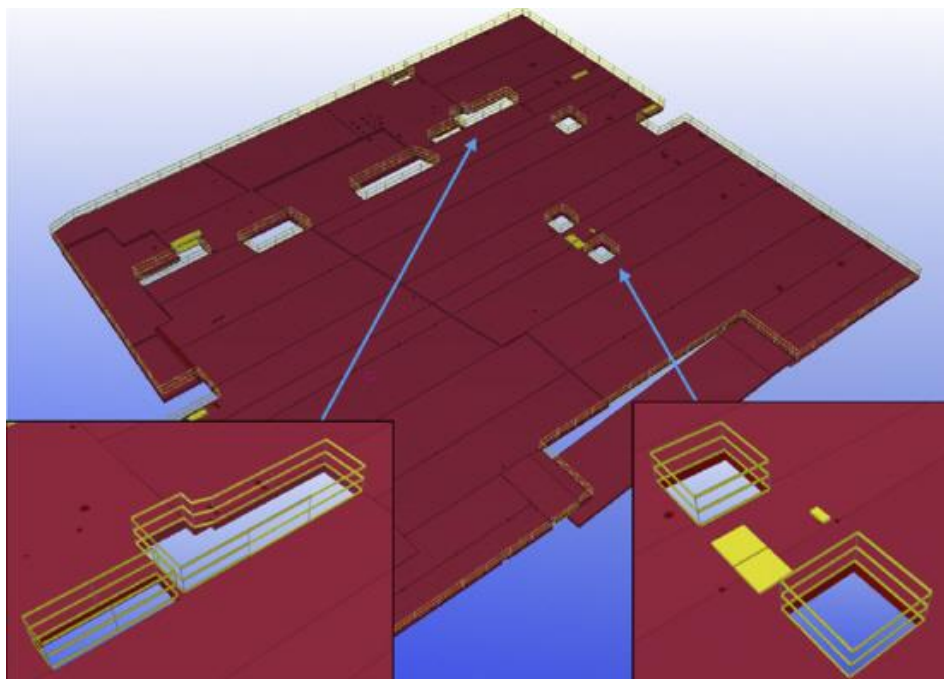
Auburnin yliopiston laajennusta rakennettaessa projektiryhmä käytti tietomallia ensin tunnistaakseen kaikki mahdolliset isommat ja pienemmät turvallisuusriskit ja mallinsi muun muassa putoamissuojakaiteet. Säännöllisissä kokouksissa oli mukana projektipäällikkö, työnjohtajat ja alihankkijat. Seuraavaksi käytettiin 4d-animaatiota, jolla esitettiin päivän rakennusaktiviteetit työntekijöille samalla läpikäyden turvallisuuden kannalta riskialttiit vaiheet ja kohteet (Azhar 2012).

Target Corporationin tietomallinnetuissa hankkeissa rakennusvaiheessa tarvittavien muutosten määrä väheni johtaen laadullisesti parempaan tulokseen (Chelson 2010)..

Kahdesta Layton Constructionin yhtäaikaaisesti rakentamasta sairaalasta tietomallinnuksessa tarvittiin vain yksi talotekniikkakoordinaattori asennusten aikana, mutta tietomallintamattoman asennuksissa tarvittiin kuudesta seitsemään. Vaikka mallinnuksessa työskentelikin kuusi BIM-operaattoria useiden kuukausien ajan, kokonaispalkkakustannukset jäivät pienemmiksi. Laytonilla on todettu, että työmaalla tarvittava muokkaukset jäävät lähes kokonaan pois tietomallinnetuissa hankkeissa. Tämä nopeuttaa aikataulua myös siten, että odotusajat minimoituvat tai käytännössä häviävät (Chelson 2010).

Sähköurakoitsija Helix Electric, Inc. on havainnut tietomallinnetuissa hankkeissa olevan huomattavasti vähemmän rakennusvaiheessa tehtäviä muutoksia. Edeltävien vaiheiden valmistumisen odottelu vähenee heidän mukaansa jonkin verran. Edellä mainitut hyödyt perustuvat suurimmaksi osaksi suunnitteluvaiheessa helpottuneeseen virheiden havaitsemiseen sekä tehtyihin törmäystarkasteluihin. Muita Helixillä havaittuja etuja ovat muun muassa aineistopyyntöjen merkittävä väheneminen sekä esivalmistuksen tarkentuminen ja lisääminen. Esivalmistus puolestaan johtaa asennuksen nopeutumiseen ja parempaan laatuun (Chelson 2010).

Tietomallipohjaista suunnittelua käytetään lisääntyvässä määrin rakennustyömaan turvallisuuden suunnitteluun ja hallintaan. Aikataulun kytkeminen tietomalliin eli ns. 4D-malli avaa uusia mahdollisuuksia rakennustyömaan turvallisuuden arviointiin ja katselmointiin, kuten yhteistyön lisääminen riskiarvioinnissa sekä riskien ja turvallisuussuunnitelmien kommunikoinnin helpottuminen. Esimerkiksi putoamissuojamenetelmien mallintaminen antaa hyvän kuvan riskipaikoista ja on yleensä hyvin yksityiskohtaista. Se on toisaalta myöskin hyvin aikaa vievää, joten sen automatisointi olisi suositeltavaa. Nykyiset BIM-ohjelmistot eivät kuitenkaan ole vielä erityisen hyviä putoamissuojausmallinnuksen automatisoinnissa. Kuva 11 on esimerkki automaattisen reuna- ja aukkotunnistuksen avulla tehdystä suojakaidemallinnuksesta (Zhang 2015).



Kuva 11. Automaattinen aukon ja reunan tunnistus ja kaiteet mallinnettuna (Zhang 2015)

2.6.5 Käyttö ja ylläpito

Nical (2016) mukaan kiinteistösijoittamisen kannattavuus on suoraan verrannollinen käyttö- ja ylläpitoprosessin tehokkuuteen, joka puolestaan riippuu rakennushankkeesta siirretyn informaation laadusta. Ollakseen tehokasta tiedon hallinnan on perustuttava jatkuvaan tiedon keräämiseen ja analysointiin sekä jatkuvaan tiedon siirtämiseen eri asiantuntija-alueiden välillä koko rakennuksen elinkaaren ajan. Rakennuksen tietomalli mahdollistaa edellä mainitun rakennustiedon hallinnan hankkeen suunnittelusta käyttövaiheeseen. Tietomallinnusta käyttämällä varmistetaan tiedonsiirron jatkuvuus, kunhan käyttö- ja ylläpitovaihe ymmärretään tärkeäksi osaksi rakennushanketta. Edellä mainitun kaltaista tietomallinnusta kutsutaan 6D – mallinnukseksi.

Tiedonsiirto koko hankkeen elinkaaren aikaisille eri osapuolille on myös yksi tärkeistä rakennuksen tietomallinnuksesta saatavista hyödyistä. Esimerkkinä konkreettisista hyödyistä, joita hankkeen alusta asti oikein tehty rakennuksen tietomallinnus tuo käyttö- ja ylläpitovaiheeseen Nical mainitsee esimerkiksi helpottuneen huollon suunnittelun. Hänen mukaansa reaktiivinen huolto voi olla jopa neljä kertaa kalliimpaa kuin suunniteltu huoltaminen. Tietomallinnuksen visuaalisuus tuo etuja sekä huoltoon että myös esimerkiksi tilojen hallintaan. Rakennuksen korjaus- ja muutostöissä ylläpidetyn tietomallin hyödyt ovat merkittäviä. Yhteenvetona Nical toteaa, että 6D-mallinnusta ei hyödynnetä vielä läheskään riittävästi sen tarjoamiin mahdollisuuksiin nähden (Nical 2016).

2.7 Rakennuksen tietomallintamisen haasteita

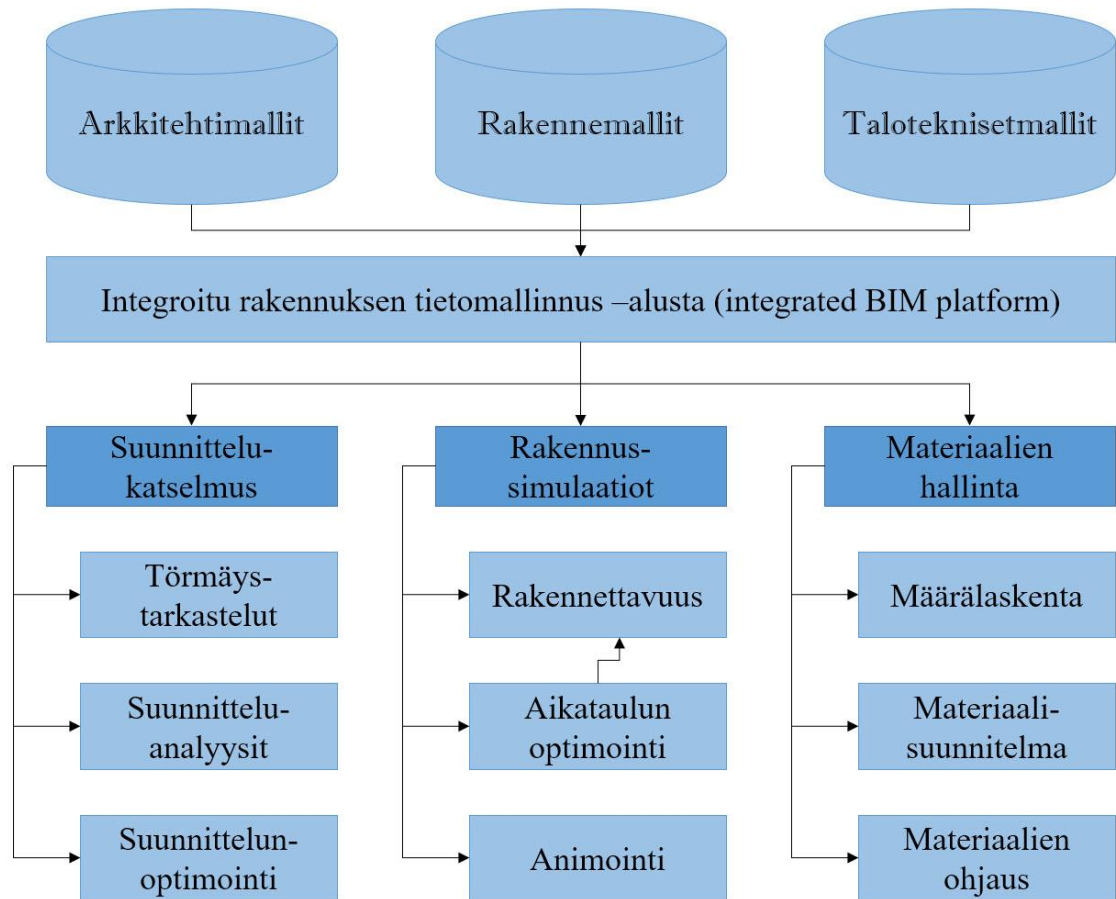
Dakhilin (2016) mukaan rakentamisen tietomallintamisesta saatavat hyödyt eivät realisoitu automaattisesti, vaan haluttu etu on tunnistettava ja määritettävä tarpeelliset muutokset toimintatavoissa ja prosesseissa edun esiintuomiseksi ja ylläpitämiseksi. Tämä ei onnistu ellei tavoiteltavan hyödyn omistajuutta ja riippuvuuksia määritellä.

Ensimmäisissä tietomallinnetuissa hankkeissa projektin alkuvaiheessa voi näyttää siltä, että ollaan aikataulusta jäljessä, vaikka hanke valmistuukin ajallaan. Tämä johtuu uusien ohjelmistojen omaksumisen oppimiskäyrästä (Gilkinson 2015). On mahdollista, että alun työläys voi aiheuttaa kärsimättömyyttä ja siten vähentää omistautumista uusien työkalujen ja toimintatapojen oppimiselle (Arayici 2011).

Eräs rakennuksen tietomallintamiseen liittyvä riski syntyy omistusoikeuksien epämääräisyydestä. Sekä maksaja eli tilaaja että mallin tehneet yritykset voivat hyvinkin perustella miksi malli sisältää heidän immateriaalioikeuksiensa alaista tietoa. Tämä on tärkeää ottaa huomioon sopimuksia laadittaessa, muuten on vaarana että epävarmuus aiheuttaa mallinnukseen vajavaisuutta (Azhar 2011).

2.8 Tietomallintamisen tulevaisuus

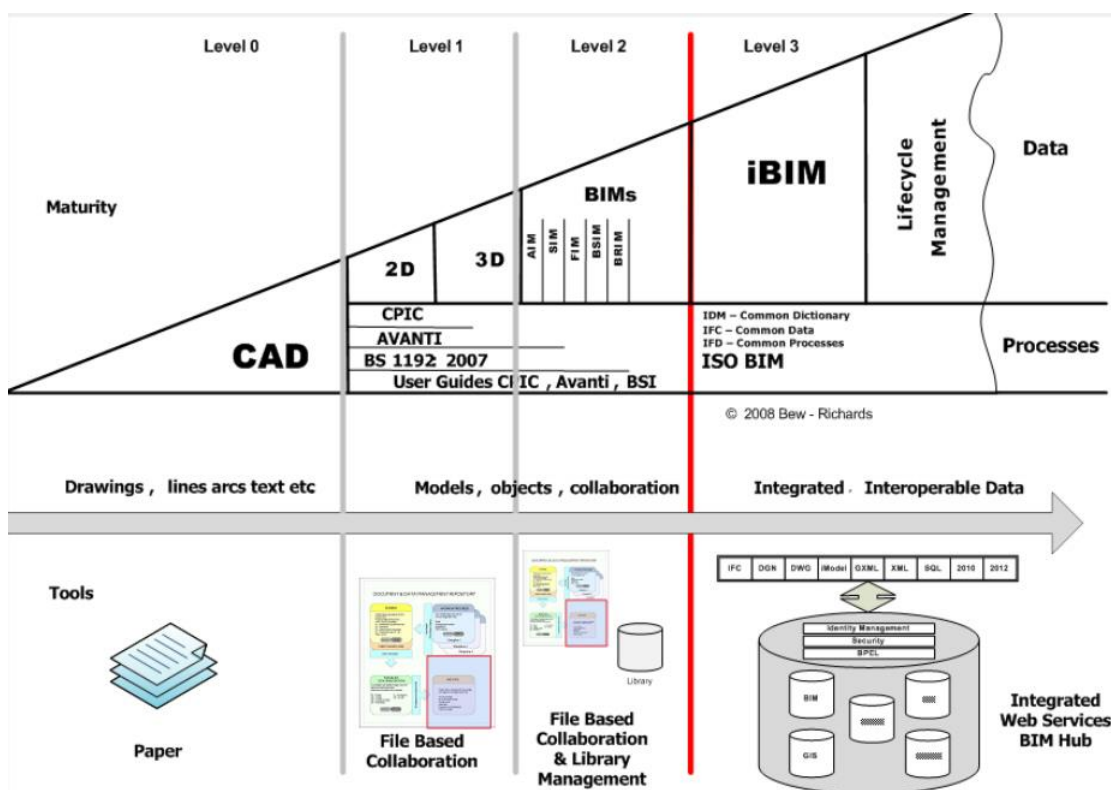
Li esittää Kuva 12 kuinka käyttämällä integroitua rakennuksen tietomallinnusalausta (integrated BIM platform) yhdistetään eri asiantuntijoiden tuottamat tietomallit yhteiseen tietovarastoon, josta se on kaikkien tarvitsijoiden käytettävissä aina ajantasaisena. Tästä yhteisestä ja yhdessä kehitettävästä rakennuksen digitaalisesta kuvauksesta voidaan erilaisiin tarpeisiin käyttää haluttuja osia lähteenä, kuten esimerkiksi rakentamisen valmisteluun rungon kokoonpanon animaatioina tai hankintojen aikatauluttamiseen (Li 2014).



Kuva 12. BIM-toimintojen yhdistäminen yhteiselle alustalle (Li 2014)

BIM-tasodiagrammin eli niin sanotun iBIM-mallin kehitti Iso-Britannian BIM työryhmän puheenjohtaja Mark Bew yhdessä Mervyn Richardsin kanssa. Kuva 13 esitettävä versio on Iso-Britannian hallituksen rakennusasiakastyöryhmän (UK Government construction client group) strategiapaperista vuodelta 2011. Kuvassa on punaisella viivalla rajattu taso, johon kaikkien julkisten hankkeiden on päästävä vuoteen 2016 mennessä. Yhteinen BIM-taso 2 tarkoittaa, että hankkeissa on käytettävä 3D ympäristöä erillisillä rakennuksen tietomallinnustyökaluilla tehtynä siten, että eri mallit yhdistetään työkalujen rajapintojen kautta tai käyttäen erillistä integrointialustaa (middleware). Malleissa voi olla jo 4D- tai 5D-ominaisuuksia (aikataulu ja kustannukset) ja linkityksiä operatiivisiin järjestelmiin. BIM-taso 3:lla tarkoitetaan täysin avointa prosessia ja tiedon integrointia hyödyntäen www-pohjaisia ohjelmointirajapintoja (web services) sekä IFC ja IFD-standardeja. Tasoa kolme voidaan kutsua nimellä iBIM tai Integrated BIM (UK GCCG 2011).

Iso-Britannian hallitus on viimeksi vuonna 2016 rakentamisen strategiassaan vahvistanut, että hallitus yhteistyössä rakennusteollisuuden kanssa kehittää uusia standardeja, joilla mahdollistetaan BIM taso 3:n käyttöönotto (UK GCS 2016).



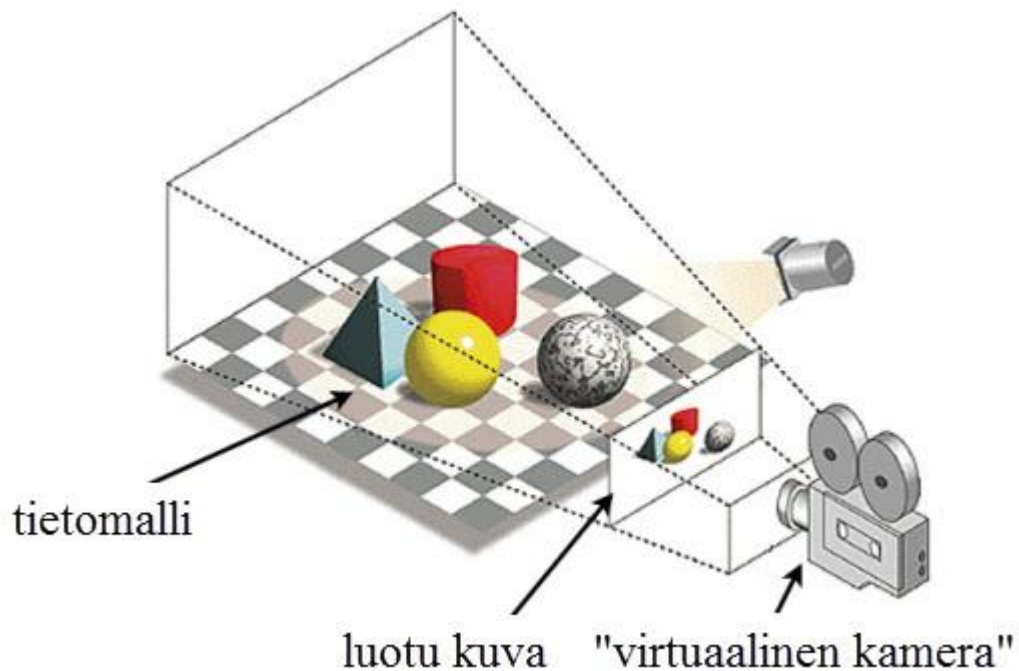
Kuva 13. Iso-Britannian BIM-työryhmän kehittämä kuvaus BIM-tasoista eli niin sanottu iBIM-malli siten kuin se esitettiin hallituksen rakennusasiakastyöryhmän strategiapaperissa vuonna 2011 (GCCG 2011).

Tietomallintamisen täyden potentiaalin hyödyntäminen vaatii sen edelleen kehittymistä informaation (information) mallintamisesta tiedon (knowledge) mallintamiseen. Muu kuin rakennusteollisuus, esimerkiksi koneiden ja laitteiden valmistus, ilmailu- ja laivanrakennusteollisuus, on jo yli vuosikymmenen käyttänyt tiedon mallinnusta (knowledge-based modeling) tuotteidensa kehittämiseen. Eräs merkittävä ero näiden kahden mallinnustavan välillä on kuinka tieto määritellään. Tiedon mallinnuksessa käytetään sääntöjä geometrinen objektien parametrien sijaan. Tämä tarkoittaa, että mallin objekti osaa muuttaa geometriaansa kontekstin mukaan, pohjautuen aiempiin suunnitelmiin tai kirjastoituihin parhaisiin käytäntöihin, sen sijaan että geometria on tallennettu sen parametreihin. Sääntöpohjainen tapa helpottaa toistuvien rutiinitehtävien automatisointia ja mallin sopeuttamista ylätasen vaatimusten muuttuessa (Gilkinson 2015).

2.8.1 Virtuaalitodellisuus ja laajennettu todellisuus

Tietomallintamisen tulo rakentamiseen mahdollistaa yhden, yhteisen tietolähteen käytön 2D-piirustusten, havainnekuvien ja jopa reaaliaikaisten renderöintien ja virtuaalitodellisuuden tekemiseen. Kuva 14 esitetään renderöinti, eli kuinka tietomallista luodaan 3-

ulotteinen kuva perustuen muun muassa virtuaalisen kameran sijaintiin, valaistukseen ja valittuihin pintamateriaaleihin.



Kuva 14. 3D-renderöinnin avulla tietomallista luodaan kuva perustuen "virtuaalisen kameran" asemaan ja muihin parametreihin (Johansson 2016).

Teoriassa tämän pitäisi helpottaa merkittävästi reaaliaikaisten visualisointien integroimista suunnittelu- ja kommunikointityökaluiksi varsinaiseen suunnitteluprosessiin. Käytännössä täydellisen rakennuksen tietomallin sisältämä yksityiskohtainen kuvaus rakennuksen kaikista osista saattaa tehdä mallista liian ison ja monimutkaisen käytettäväksi suoraan reaaliaikaiseen renderointiin, joka ollakseen katsojalle sujuvaa vaatii riittävän kuvan päivitystiheyden. Useiden tutkimusten mukaan toimiva interaktiivisuus vaatii 15 Hz päivitystiheyden, mutta se paranee jopa 60 Hz saakka. Samoin on tutkittu uusien virtuaalilasien käyttöä ja todettu, että sujuvan virtuaaliympäristön luominen niitä varten vaatii jopa 90 Hz:n päivitystiheyttä. Tämän takia yleinen lähestymistapa on käsitellä rakennuksen tietomallia optimoimalla sitä ennen käyttöä reaaliaikaisen ympäristön luomiseen. Tämä välivaihe muuttaa tietomallin käytön luonnetta, sillä tehty muutos ei olekaan heti nähtävissä virtuaalitodellisuudessa. Toki myös perinteinen raa'an voiman lisääntyminen jatkuvasti kehittyvänä laskentatehona voi mahdollistaa monimutkaisempien mallien reaaliaikaisen käsittelyn riittävällä päivitystiheydellä. Mielenkiinto ja tarve reaaliaikaiseen virtualisointiin käyttäen olemassa olevia tietomalleja ovat kuitenkin niin suuria, että todennäköisesti panostus tehokkaampien algoritmien ja uusien lähestymistapojen kehittämiseen tuo lähitulevaisuudessa toimivia ratkaisuja. Erityisesti päässä pidettävien näyttöjen (head mounted display, HMD) eli virtuaalilasien, kuten esimerkiksi Oculus Rift tai HTC Vive, nopea kehittyminen ja suhteellisen edullinen hinta avaa valtavasti mahdolli-

suuksia hankekehityksen ja suunnitteluprosessin uudistamiselle. Tällaisten immersiiivisten eli kokonaisvaltaisten ja mukaansatempaavien (immersive) teknologioiden käyttöön-otto lisää katselukokemuksen realistisuutta merkittävästi. Aiemmin suhteellisen kalliita useisiin seinien kokoisiin näyttöihin perustuvia ratkaisuja on käytetty esimerkiksi sairaaloiden, koulujen ja muiden julkisten palveluiden tilojen suunnittelussa osallistuttamaan tulevia käyttäjiä suunnitteluprosessiin. Edullisten päässä pidettävien laitteiden eli virtuaalilasien ilmestyminen markkinoille yhdessä riittävällä kuvanpäivitystiheydellä reaaliaikaista virtuaalitodellisuutta tietomallista tuottavien ohjelmistojen kanssa mahdollistaa käytön yleistymisen (Johansson 2016).

Laajennetulla todellisuudella (augmented reality, AR) tarkoitetaan todellisen maailman yhdistämistä tietokoneella luotuun tietoon, käytännössä siis tietokonekuvaa lisätään käyttäjän näkymään todellisen kuvan päälle. Laajennettu todellisuus mahdollistaa käyttäjän työskentelyn todellisessa ympäristössä ja samalla nähdä myös keinotekoisia tietoa, joka auttaa tehtävän suorittamisessa (Wang 2013).

Gu et al (2014) tekemien laajojen rakennusteollisuuden kohderyhmähaastattelujen ja tietomallinnussovellusten tutkimusten mukaan visualisaatio on yhteistoiminnan mahdollistava perusta eri osaamisalueita edustavien osapuolten välillä. Visualisaatio lisää motivaatiota rakennuksen tietomallintamiseen perustuvaan yhteistoimintaan erityisesti kun käytetään edistyneitä tekniikoita kuten virtuaalitodellisuutta (virtual reality, VR) tai laajennettua todellisuutta (Gu 2010).

3. HAASTATTELUTUTKIMUS

Haastateltavat valittiin YIT:n työn ohjaajan avustuksella niin, että saatiin edustava otos erilaisissa tehtävissä toimivia ammattilaisia, joilla on jonkin verran kokemusta tietomallintamisesta. Yhteensä haastateltiin 18 ihmistä, joista kaksi johtajaa arvioi, että heidän vastauksiaan ei kannata sisällyttää tuloksiin, ja yksi haastateltava ei lopulta ehtinyt arvioida väitettyjä hyötyjä. Teemakeskusteluissa on mukana siis 16 haastateltavan kokemuksia ja ajatuksia, väitettyjen hyötyjen arvioinnissa puolestaan on 15 haastateltavan arviot. Liitteessä A yksi esitetään haastatteluissa käytetty kysymysrunko ja liitteessä B on lueteltu haastateltavat tehtävänimikkeineen aakkosjärjestyksessä.

3.1 Haastattelututkimuksen kuvaus

Haastattelun aluksi haastateltavien kanssa käytiin läpi päävaiheittain Kuva 15 on esitetty yksinkertaistettu versio kesällä 2016 päivätystä YIT:n asuntotuotantoprosessista. Tässä diplomityössä esitettävässä versiossa kuvasta on poistettu runsaasti luottamukselliseksi arvioituja osia, kuten esimerkiksi vaiheisiin liitettyjä aktiviteetteja sekä päätöksentekokriteereitä. Haastatteluissa keskustelu teemoitettiin asuntotuotantoprosessin mukaisiin vaiheisiin, joita ovat:

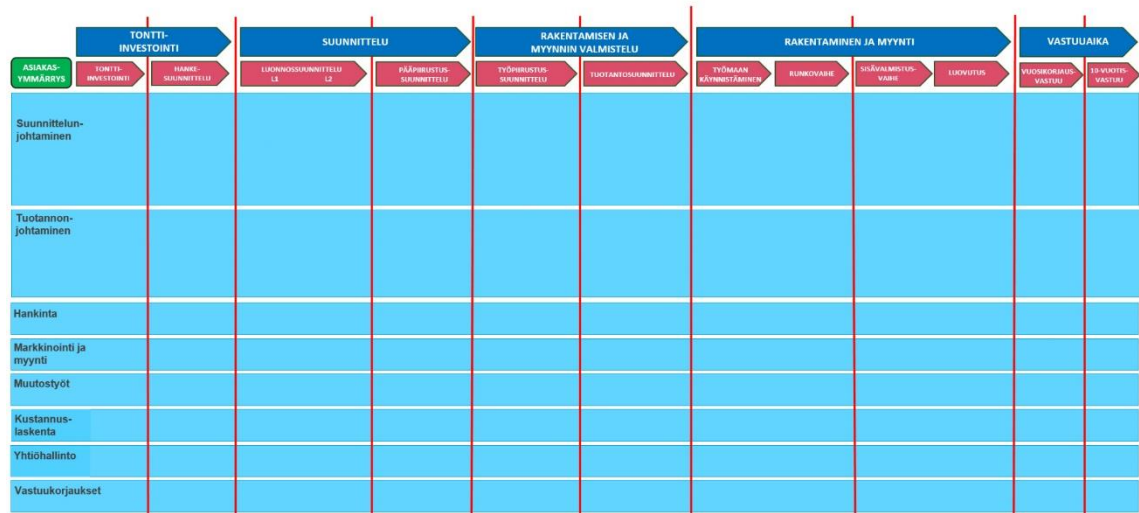
- Tontti-investointi
- Hankesuunnittelu
- Luonnossuunnittelu
- Pääpiirustussuunnittelu
- Työpiirustussuunnittelu
- Tuotantos suunnittelu
- Työmaan käynnistäminen
- Runkovaihe
- Sisävalmistusvaihe
- Luovutus
- Vuosikorjausvastuut
- 10-vuotisvastuut

Vuosikorjausvastuut ja 10-vuotisvastuut jätetään tutkimuksen teettäjän ohjeiden mukaisesti kysymysten ulkopuolelle.

Keskusteluissa pyydettiin haastateltavaa esittämään kokemuksensa mukaan rakennuksen tietomallintamisella saavutettuja hyötyjä YIT:n asuntotuotantoprosessin eri vaiheille sekä arvioimaan kokemuksensa ja tietämyksensä perusteella millaisia hyötyjä voisi olla saavutettavissa. Kokemukseen perustuva arviointi osoittautui tärkeäksi, sillä suurella osalla

haastateltavista on kokemusta rakennuksen tietomallintamisesta toimitila- tai julkisrakentamisen puolelta, mutta ei asuntorakentamisessa.

YIT Asuntoprosessi



Kuva 15. YIT:n asuntoprosessi voimakkaasti yksinkertaistettuna (YIT 2016).

3.2 Kyselytutkimuksen kuvaus

Haastatteluiden loppuosalla haastateltavien kanssa käytiin lävitse sarja väittämiä rakennuksen tietomallinnuksen hyödyistä, jotka on johdettu kirjallisuustutkimuksessa löydettyistä havainnoista, ja pyydettiin haastateltavaa arvioimaan niiden paikkaansa pitävyyttä. Väittämiä arvioitiin asteikolla 1-6, yhden tarkoittaessa väitteen olevan täysin paikkaansa pitämätön ja kuuden tarkoittaessa erittäin hyvin paikkaansa pitävää väitettä. Seuraavassa on lueteltu väittämät kyselyssä esitetystä järjestyksessä:

1. Parantunut informaation hallinta
2. Päätöksenteon paraneminen
3. Parantunut projektisuunnittelu
4. Tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus
5. Kustannusarvion laskemisen nopeutuminen
6. Tarjousten oikeellisuuden ja tarkkuuden paraneminen
7. Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen väheneminen
8. Projektin laadun paraneminen
9. Helpompi prosessien yhteensovittaminen
10. Suunnitelmiin jäävien virheiden väheneminen
11. Parantunut resurssien hallinta
12. Projektin kokonaiskeston lyheneminen
13. Kustannusten lasku
14. Tuottavuuden paraneminen

15. Projektien kannattavuuden lisääntyminen
16. Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen
17. Parantunut kommunikaatio
18. Parantunut organisaation joustavuus
19. Hankkeen osapuolten parantuneet suhteet
20. Turvallisuuden paraneminen
21. Muutostöiden väheneminen
22. Esivalmistuksen mahdollistuminen
23. Takuutöiden väheneminen
24. Elinkaaritietojen hallinta
25. Helpompi työmaan suunnittelu (esim. kulku, varastot, nostot)
26. Asiakastyytyväisyyden lisääntyminen
27. Kilpailuedun saavuttaminen
28. Uusien liiketoimintamahdollisuuksien syntyminen
29. Tietomallintaminen lisää innovatiivisuutta suunnitteluun
30. Tietomallintaminen maksaa itsensä takaisin

Väittämät ovat hyvin eritasoisia ja osa laveasti tulkittavissa, mutta silti keskustellen niiden osalta yleensä päädyttiin samankaltaiseen tulkintaan. Eräs haastateltava huomautti, että osa hyötyväitteistä on seurausta toisista väitteistä eli niiden välillä on selkeitä riippuvuussuhteita. Tämä varmastikin pitää paikkaansa, mutta on toisaalta myös luonnollista.

3.3 Tontti-investointivaihe

3.3.1 Tontti-investointi

Tontti-investointi vaiheessa hyötyjä olisi saatavissa olemassa olevien rakenteiden mallinnuksesta sekä nopeasta määrälaskennasta ja sitä kautta nopeasta ja tarkasta hinnoittelusta (kehityspäällikkö).

Haastateltavat arvioivat, että tontti-investointia tehtäessä suurimmat hyödyt tietomallintamisesta saadaan kustannusarvioinnissa, kun tilaobjekteihin tehdään ns. raakamassoittelu tai pikamassoittelu. Tässä vaiheessa voidaan helposti testata erilaista massoittelua, tutkia kuinka rakennus istuu ympäristöön ja onko mahdollista mahdollistaa kaikki tarvittavat toiminnot tontille. Samoin voidaan nopeasti varmistaa vaihtoehtoja tarkastelemalla, että kaikki käytössä oleva rakennusoikeus saadaan järkevästi käytettyä. Mallinnuksen avulla on helppoa alustavasti arvioida myyvyyttä. Lisäksi hyötyä on tietenkin saavutettavissa visualisoinnista, erityisesti tuotteistuksen ja parhaiden käytäntöjen ja kirjastojen avulla tehtynä. Tällöin riittävän tarkka pikahinnoittelu saadaan tietomallista (esim. projektipäällikkö, vastaava mestari, arkkitehti).

Rakennuksen tietomallintaminen on sofistikoitunut tapa optimoida rakennuksen massoittelu tontilla ja maksimoida myytävä pinta-ala. Helpottaa merkittävästi tonttien vertailua ja priorisointia (kehityspäällikkö).

Tontille voitaisiin sovittaa pienellä vaivalla mallikirjastosta poimittuja valmiita rakennuksia (laskentapäällikkö).

3.3.2 Hankesuunnittelu

Projektipäällikkö arvioi hankesuunnitteluvaiheessa rakennuksen tietomallinnuksesta saatavan hyötyä nopeatuneena kustannuslaskentana vaihtoehtoja tarkasteltaessa. Rakennuskustannuksia optimoitaessa saattaa myyvyys kärsiä, mutta nopea ja riittävän tarkka kustannuslaskenta rakennuksen mallia muutettaessa voisi johtaa mielenkiintoisiin ratkaisuihin, jotka helposti muuten jätetään tarkastelematta (projektipäällikkö). Tietomallintaminen on aloitettava ihan alusta ja tehtävä oikein (vastaava mestari). Alusta asti oikein tehty mallintaminen mahdollistaa vaihtoehtojen realistisen tarkastelun lisäksi helpomman vuoropuhelun sidosryhmien, esimerkiksi asukkaiden, kanssa visuaalisuutensa vuoksi (tekni- sen toimiston päällikkö).

Oikein tehty ja tarkka tietomalli antaa valtavasti määrä- ja kustannuslaskentaan. Hankesuunnitteluvaiheessa tietomalli nopeuttaa merkittävästi vaihtoehtojen rakennuskustannusten laskemista, käsin massojen laskenta vaihtoehtoisille suunnitelmille on aivan liian hidasta. Lisäksi visuaalisuus on tärkeä asia tässä vaiheessa (laskentainsinööri).

Tietomallintamisen kanssa rakentaminen muuttaa työtapoja vaikuttaen koko rakentamisen kaareen. Määrälaskenta ja siten kustannusarviot tarkentuvat ja varaukset pienenevät (työmaainsinööri). Tietomallintaminen parantaa kommunikointia eri osapuolten kanssa ja mahdollistaa helpommin ”tulevien asukkaiden lämmittelyn” (kehityspäällikkö).

Haastateltava arvioi rakennuksen tietomallinnuksen hyötyjä hankesuunnitteluvaiheessa olevan esimerkiksi visuaalinen hahmottaminen muun muassa kohteen houkuttelevuuden ja myytävyyden tarkastelussa, vaihtoehtotarkastelut ja niiden määrälaskenta sekä nopea hinnoittelu (kehityspäällikkö).

Rakennuksen tietomallintamisesta saadaan hyötyä esimerkiksi siitä, että vaihtoehtoa- lyysien ja kustannusarvioiden tekeminen on nopeampaa ja vähemmän virheille altista kuin perinteisillä menetelmillä tehtynä. Liian kalliit vaihtoehdot on helpompi havaita. Samalla voidaan varmistaa, ettei valittu ratkaisu sotke modulaarisuuden käyttöä eli että voi- daan käyttää taloudellisia ratkaisuja. Tietomallin käyttö varmistaisi, että määrättyjä, han- kinnan kannalta sopivia komponentteja käytetään. (arkkitehti).

Tietomallin käyttö myös parantaa informaation kulkua esimerkiksi niissä yleisissä ta- pauksissa, joissa pääarkkitehti ei ole mukana kokouksissa vaan on lähettänyt edustajan tai päinvastoin (arkkitehti).

Visualisointi auttaa hahmottamaan suunnitelmia nopeammin ja yksiselitteisesti. Markki- nointimateriaalia myyntiä varten saadaan rakennuksen tietomallista helposti jo aikai-

sessä vaiheessa. Vaihtoehtotarkastelu nopeutuu merkittävästi, samoin mahdollistuu pika-hinnoittelu ja massoittelu. Esimerkiksi muuttuvat pinta-alat saadaan päivittyvästä tilamallista todella nopeasti. Energialaskelmien tekeminen nopeutuu ja mahdollistuu vaihtoehtoilta (projektipäällikkö).

3.4 Suunnitteluvaihe

Projektipäällikön mukaan hankkeessa olisi hyödytty mallinnetusta maaperästä, josta olisi helpommin havaittu kalliopinnan tason vaihtelut ja tarvittavien leikkausten määrät. Sijainti oli ahdas, jo rakennettujen aiempien vaiheiden ja junaradan puristuksessa. Hän arvioi myös, että mallintamisen jälkeen olisi voitu havaita tarve tehdä lisää maaperätutkimuksia, joilla epävarmuuskohtia olisi saatu vielä vähennettyä (projektipäällikkö).

Suunnittelu syntyy aiempaa laadukkaampana ja valmiimpana tietomallinnusta käytettäessä. Virheiden määrä vähenee. Osapuolet tulevat aiemmin mukaan hankkeeseen, jonka seurauksena yhteistyö ja kokonaisuuden tarkastelu aientuu ja vähentää kustannuksia myöhemmin (projektipäällikkö).

3.4.1 Luonnossuunnittelu

Kun hankkeessa on tehty rakennuksen tietomallinnusta alusta asti oikein, sääntöjen, ohjeiden ja sovittujen käytäntöjen mukaisesti, luonnossuunnitteluvaiheessa esimerkiksi talotekniikan tilavaraukset ovat automaattisesti oikein tai ainakin riittävän tarkkoja. Lopulliset asuntojen alat ovat oikein. Helppo visualisointi ja havainnollistaminen auttavat myös varmistamaan myytävyyden. Valmistettavuuden ja toteutettavuuden arviointi ovat myös helpompia tehdä kuin perinteisistä taso- tai 3D-kuvista (projektipäällikkö).

Jo luonnosvaiheessa voidaan tietomallinnettu kohden hinnoitella rakennuskustannusten osalta oikeilla määrillä. Eräässä kohteessa etsittiin tehokkaampia pohjaratkaisuja ja huomattiin, että vaihtoehtojen laskenta on niin nopeaa, että uusi, tarkka hinta saatiin muutamassa tunnissa. Tietomallinnus tukee solmutyötä (tai big room –mallia), joka taas johtaa parempaan laatuun ja asioiden tekemiseen aikaisemmin (laskentainsinööri).

Oikein tietomallinnetun hankkeen luonnossuunnitteluvaiheessa mallin avulla on helppoa tarkistaa suunnitelmien yhteensopivuus. Variaatioiden tekeminen ja niiden yhteensopivuuden tarkistaminen, määrälaskenta ja hinnoittelu helpottuvat ja nopeutuvat. Hankkeen eri osapuolten yhdessä tekeminen lisääntyy johtaen parempaan ja toimivampaan lopputulokseen (kehityspäällikkö).

Tietomallintamisen mahdollistama visuaalinen vuoropuhelu tulevien asukkaiden kanssa jatkuu luonnostelu vaiheessa. Asunnon käyttöä voidaan simuloida ja käyttää virtuaalitoimitteluutta tutkimaan pohjaratkaisun käytettävyyttä ja tarkoituksenmukaisuutta (teknisen toimiston päällikkö).

Haastateltavan mukaan meillä voisi olla mallissa blokkeina tms esimerkkihuoneistoja, keittiöitä, kylpyhuoneita tai niiden komponentteja, joita haluamme suunnittelijan (arkkitehdin) käyttävän. Samoin esivalmisteiden käytön mahdollistaminen voidaan varmistaa jo tässä vaiheessa. Toisin sanoen, viedään eteenpäin jo nykyistä käytäntöä toimittaa 2D:nä suunnittelijoille mallikomponentteja, kuten kylpyhuoneita, jolloin arkkitehdin on helppo sovittaa halutut osat tai kokonaisuudet suunnitelmiinsa. Mitä enemmän meillä olisi valmiita malleja asunnoista, sitä paremmin tämä toimisi. Asuinkerrostaloissa arkkitehti ei erityisesti huomioi asuntoa, vaan keskittyy julkisivuun ja lupaprosessiin. Usein esimerkiksi kalustettavuutta ei ole tarpeeksi tutkittu, mutta jos mallinnusvaatimuksessa on myöskin vakiokalusteiden sijoittaminen, asuntojen toimivuus saadaan paremmaksi helpommin. Tietomallintamalla hanke alusta loppuun, varmistetaan, että koko ketju toimii ja huomioon tulee otetuksi meidän käsikirjamme ja siihen liittyvät hankintasuunnitelmat. Käyttämällä tietomallinnusta nähdään toimivatko huonepohjat ja onko suunniteltu lopputulos mahdollista valmistaa kustannustehokkaasti (arkkitehti).

Luonnossuunnitteluvaiheessa hyvästä rakennuksen tietomallista saadaan merkittävää hyötyä, esimerkiksi riittävän tarkat materiaalmäärät, jolloin mahdollistuu nopea kustannuslaskenta. Optimaalisessa tilanteessa tarkoille määrille saataisiin vielä oikeat, voimassa olevien sopimusten mukaiset hinnat toisesta järjestelmästä (laskentapäällikkö). Massat ja määrät saadaan aika lailla oikein ja helposti tietomallista (vastaava mestari). Esimerkiksi Triplassa aikasäästö määriä laskettaessa 400 asuntoa varten oli merkittävä, selkeästi enemmän kuin pari viikkoa. Ilman tietomallia olisi pitänyt laskea määrät tarkkojen lukujen sijaan yleisillä oletuksilla (laskentapäällikkö).

3.4.2 Pääpiirustussuunnittelu

Lähes kaikki haastateltavat korostavat erityisesti, että jos tietomalli on tehty oikein, esimerkiksi rakennuslupapiirustusten ja markkinointikuvien tuottamisen pitäisi olla erittäin helppoa ja suoraviivaista. Esimerkiksi hormisijoitusten ja muiden tekniikan vaatimien tilojen aikainen mallintaminen ja törmäystarkastelu varmistavat, että rakennuslupaa ja myyntiä varten saadaan varmasti oikeat pinta-alat (projektipäällikkö).

Rakennuksen tietomallintamisella saataisiin aiemmin näkyvyys hankaliin rakenteisiin ja voitaisiin ehkä vielä muuttaa suunnitelmia helpommin toteutettavaksi tai ainakin vaikea rakenne osattaisiin ottaa kustannuksia laskettaessa huomioon. Koska mallintamalla suunnittelemisessa ei voi oikaista, saadaan paremmat ja laadukkaammat suunnitelmat aiemmin. Lisääntynyt työmäärä säästyy reilusti myöhemmin (laskentapäällikkö).

Kun arkkitehti suunnittelee mallintamalla, hän ei tee aluksi 2D-kuvia! Lupakuvat saadaan oikein tehdystä tietomallista helposti ja oikein. Tarvittavat 2d-kuvat, esimerkiksi pohjat, detaljit ja leikkaukset, ovat näkymiä tietomalliin, joten ne ovat aina oikein. Kustannus-

laskenta tarkentuu, kun rakennemalli on käytössä, mutta kustannusten taso ei enää asuntorakentamisessa muutu. Simuloinnit helpottuvat, esimerkiksi energiankulutus, palo-simulaatiot ja evakuointisuunnitelmat (laskentainsinööri).

Kuntien sähköisten palveluiden edetessä useat kunnat valmistelevat tietomallipohjaisen rakennuslupakäsittelyn lisäämistä vaihtoehdoksi. Tämä olisi oiva lisä rakennuksentietomallinnuksen yhteistyötä lisäävään ja parantavaan vaikutukseen helpottaessaan viranomaisten osallistuttamista hankkeeseen (projektipäällikkö). Järvenpään kaupunki oli edellyttänyt Lidlin rakennustyömaalla, että ylläpidetään ajantasaista tietomallia, joka on käytettävissä valvojien käydessä paikalla (teknisen toimiston päällikkö).

Keskeisimpiä hyötyjä tietomallintamisesta on suunnitelmien yhteensovittamisen kautta saavutettava virheettömyys ja tarkkuuden parantuminen. Jos haluttaisiin oikeasti käydä vuoropuhelua naapureiden kanssa, voidaan mallinnettu talo ja piharakenteet esitellä vaikkapa tabletilta lisättynä todellisuutena oikeassa ympäristössä (teknisen toimiston päällikkö).

Pääpiirustuksia tehtäessä tietomallinnus johtaa hyvin virtaavaan suunnitteluprosessiin, jonka tuloksena rakennuslupakuvien tekeminen on mallista tulostamista ja tarvittavien merkintöjen lisäämistä. Oikein tehdyillä määrittelyillä voidaan vähentää tarvittavaa käsi-työtä. Markkinointi ja myynti hyötyvät huolellisesti tehdystä tietomallinnuksesta esimerkiksi helpottuneena visualisointina. Tulevaisuudessa tietomallinnetussa kohteessa on varmasti mahdollista ottaa jo näinkin aikaisessa vaiheessa asiakas mukaan suunnitteluun muuttamaan asuntoa mieleisekseen (kehityspäällikkö). Jos kohteesta tehdään heti alusta alkaen tarkka ja älykäs malli, pääpiirustukset ovat valmiit jo luonnossuunnittelun jälkeen (järjestelmäpäällikkö).

Kauppa alkaa heti kun lupasarja on valmis, jolloin tietomallintaminen mahdollistaa tehokkaan ja näyttävän markkinoinnin helposti ja edullisesti. Asiakas voidaan tavallaan päästää jo aikaisessa vaiheessa sisälle, miettimään mahdollisia muutoksia ja materiaali-valintoja. Kun samalla sovitut muutokset päivitetään malliin, saadaan määrälaskenta pysymään ajan tasalla ja toisaalta tieto etenee valmistukseen saakka. Yhdistämällä helikopteri- tai lennökkikuvaus rakennuksen tietomalliin voidaan saada helpommin halutun tasoista markkinointimateriaalia. Tavoitteena on tietysti virtuaalitodellisuus fotorealistisilla pinnoilla, mutta siihen on vielä matkaa. Nykypäivää sen sijaan on jo fotorealistiset still-kuvat tietomallinpohjalta. Olemme jo myöskin pilotoineet virtuaalitodellisuutta eli huoneistossa voi liikkua, mutta toistaiseksi eivät pinnat ole näyttäneet oikeilta (arkkitehti).

3.5 Rakentamisen ja myynnin valmistelu -vaihe

Rakennuksen tietomallintaminen pakottaa suunnittelijat tekemään parempaa ja tarkempaa jälkeä ja siten johtaa huomioimaan tuotannonsuunnittelun ja valmistuksen jo aikaisessa vaiheessa. Suunnittelun vaatimustason nouseminen synnyttää merkittäviä säästöjä rakennusvaiheessa. Esimerkkejä on kappaleessa Tuotantosuunnittelu (vastaava mestari).

Pyytämällä tarjouksia tietomallilla 2D-piirustusten sijaan tarjouksista saadaan tarkempia, edullisempia ja toteutukseltaan lyhempiä epävarmuustekijöiden vähentyessä (kehityspäällikkö).

3.5.1 Työpiirustussuunnittelu

Oikein tehty malli nopeuttaa valtavasti työpiirustusten tuottamista. Jatkossa enää liitosdetaljit tulevat paperilla, kaikki muu objekteilla. Materiaalitiedot olisi mahdollista saada jostakin tietopankista tietomalliin. Jatkossa kun huoneselostukset tullaan liittämään tietomallin tilaobjekteihin, iso nippu paperisuunnitelmia ja selostuksia tulee korvautumaan. Tietomallista tullaan saamaan lisäksi esimerkiksi päätelaitteiden tiedot, palvelualuekaaviot, sammutusalueet ja kulunvalvonnan tiedot (projektipäällikkö).

Oikein tehdyssä tietomallissa mallin objektien attribuuteissa on kaikki tarvittavat vaiheet aikataulutettu, kuten esimerkiksi suunnittelun aloitus, suunnittelun valmistuminen, hankintojen ajoitus, seinäelementtien valmistus ja asennusajankohta. Tällöin hanke voidaan tietomallissa aikatauluttaa kokonaan tarkasti, jolloin esimerkiksi perinteisesti käytössä olevasta viikko per kerros peukalosäännöstä voidaan luopua. Lisäksi, tietomallintaminen pakottaa suunnittelijan suunnittelemaan tarkemmin ja oikeellisemmin. Oikaista ei voi, koska siitä jää heti kiinni. Vaikka suunnittelutunnit voivat lisääntyä, parempi suunnittelun taso näkyy merkittävänä etuna työmaalla (laskentainsinööri).

Työpiirustusvaiheessa tietomallintamisesta on vielä entistä enemmän konkreettista hyötyä, esimerkiksi käytännön asioiden varmistamiset kuten törmäystarkastelut, tuotannon näkökulman huomioiminen suunnittelussa ja valmistettavuuden varmistaminen. Luvattujen asioiden tekemisen seuraaminen on tietomallin avulla helpompaa kuin perinteisten piirustusten ja pöytäkirjojen pohjalta, koska kaikilla on käytössään suunnitelmien viimeiset versiot. Yhteisen mallin valmistelulla on helppo seurata suunnittelutyön etenemää, pysytäänkö aikataulussa ja mitä lisäasioita on otettava huomioon (kehityspäällikkö).

Usein piirustuksiin jääneiden virheiden tai puutteiden takia työmaalla joudutaan tekemään 20k€:n luokkaa olevia purkuja ja korjauksia. Jos tietomallintamiseen olisi panostettu riittävästi ja malli olisi työmaalla käytettävissä ja oikein käytössä, korjauksilta voitaisiin välttyä (vastaava mestari).

Yhdessä kerrostalon portaassa saattaa mennä 10k€ reikien piikkaamiseen, poraamiseen ja paikkaamiseen, kun oikein tehdyllä tietomallilla reikäkierrot olisivat oikein heti alusta lähtien. Haastateltava on itse kuullut kilpailijoilta tämän pitävän paikkaansa. Suoran rahassäästön lisäksi säästyy tietysti paljon aikaa ja tarvitaan vähemmän työn uudelleen suunnittelua (laskentapäällikkö).

Toimittajilta, esimerkiksi keittiövalmistajilta, on vaadittava (ja saadaankin osittain jo nyt) tietomalliobjekteina heidän toimittamansa materiaalit, jotta ne saadaan rakennuksen malliin juuri oikeanlaisena (arkkitehti).

Hyvälaatuisesta rakennuksen tietomallista saadaan tarjouskyselyitä varten laskettua elementtiluettelot muutamassa tunnissa verrattuna pariin viikkoon, joka saattaa kulua 2d-kuvia käytettäessä. Sama pätee tietysti kaikkien muidenkin määrien laskemiseen, esimerkiksi ikkunat, ovet ja pinnat (laskentapäällikkö).

3.5.2 Tuotantosunnittelu

Kun tietomalli on tehty alusta alkaen ja oikein, tuotannonsuunnittelu tulee käytännössä aikaistumaan, helpottumaan ja nopeutumaan. Suunnitelmiin jäävät virheet vähenevät. Elementtien asennussuunnitelmien teko helpottuu tietomallinnuksen myötä. Visualisointi yhdistettynä mallissa suunniteltuun aikataulutukseen auttaa hahmottamaan suunnittelun ja rakentamisen edistymistä. Asennustavasta päättäminen helpottuu ja esimerkiksi nostosuunnitelman tekeminen helpottuu ja lähes automatisoituu. Kunnollisesta rakennuksen tietomallista työmaasuunnitelmat saadaan tehtyä todella helposti ja tarvittaessa niiden muuttaminen on nopeaa. Kaluston määrälaskenta ja tarpeen aikataulutus on nopeaa ja helppoa mallinnetusta aluesuunnitelmasta. Logistiikan ja turvallisuuden lisääntymisen lisäksi hyötyä voisi olla myös yrityksen yleisen imagon ja tulevan myynnin parantamisessa. Näyttötaulujen halventuessa havainnollinen, aina ajan tasalla oleva työmaan layout voisi olla esillä vaikka jo portilla tai ainakin työmaakopissa korvaten väritetyt kuvat (projektipäällikkö).

Hankalassa kohteessa visuaalisuus ja simuloinnin mahdollistuminen helpottaa tuotannon suunnittelua. Tietomallin avulla nosturin mitoitus ja sijoittelu on helpompaa. Rakennesuunnittelijan tekemän mallin voisi antaa elementtitoimittajalle auttamaan elementtien tuotannon suunnittelussa ja aikataulutuksessa, sen sijaan että elementtitoimittaja mallintaa saman rungon itse. Tällä saataisiin eliminoida tai ainakin vähennettyä toimitushäiriöitä. Jos malli olisi yhteiskäytössä, jossakin pilvessä tai palvelimessa, toimittaja voisi siihen päivittää statuksen (laskentapäällikkö).

Tietomallintaminen parantaa työturvallisuutta ja helpottaa aluesuunnitelmien tekoa (varsinkin jos työmaan järjestystä joudutaan muuttamaan rakentamisen aikana) sekä esimerkiksi nosturin sijoittelua ja mitoitusta (laskentainsinööri).

Haastateltava kertoi tuntevansa muottiporukoita, jotka itse mallintavat 2D-suunnitelmista 3d-mallin, jonka avulla sitten hahmottelevat muottitarpeet ja muottien kierron. Samalla he saavat vaikeista kohdista haluamansa leikkauskuvat täydentämään suunnitelmien mukana tulleita, usein riittämättömiä leikkauksia, ja voivat aina silloin tällöin ehdottaa pieniä muutoksiakin tuotantoteknisistä syistä. Erityisesti edellä mainittua tapahtuu vaikeissa kohteissa, ei ehkä niinkään tasaiselle maalle tehtävissä ”peruskohteissa”. Oikein mallinnetuista perustuksista saadaan helpommin mallinnettua muotit ja niistä taas esimerkiksi reikien paikat ja liitokset (kehityspäällikkö).

Ihan varmasti paranee tuotantosuunnitelman laatu, kun kohde on tietomallinnettu niin, että myös rakentaminen on aikataulutettu. Tällöin koko kohden voidaan rakentaa ruudulla (simuloida) kerran tai pari läpi ennen työmaankäynnistymistä. Tämä johtaa tuotannon laadun paranemiseen ja johtaa tehokkaampiin ja riskittömämpiin ratkaisuihin sekä helpottaa työmaan ja ympäristön toimintojen yhteensovittamista. Tietomallin ylivertainen havainnollisuus auttaa kaikkia suunnitelman toteuttamiseen liittyviä osapuolia ymmärtämään ja omaksumaan. Ainakin teräsrakenteita valmistavat alihankkijat saavat jo nyt tilaukset tietomallina, varmasti sama toimisi muillekin (teknisen toimiston päällikkö).

Tietomalli on työmaan suunnittelussa helppo purkaa kappaleiksi, esimerkiksi seinistä laskea massat ja raudat. Vaikka ei olisikaan käytössä automaattisia tai puoliautomaattisia ohjelmistoja esimerkiksi nostosuunnitelman tekoon, nopeuttaa ja helpottaa tietomallin olemassaolo sen tekemistä (vastaava mestari).

Oikein tehty rakennuksen tietomallintaminen helpottaa työmaan suunnittelussa niin, että logistiikka pelaa, työmaa on turvallinen tehdä töitä ja kulkea. Nosturien sijoittelu on helpompaa tehdä tietomallin pohjalta tai avulla. Myös aikataulun laatimisessa ja seuraamisessa saadaan tietomallintamisesta huima apu, aikataulun tarkkuus lisääntyy ja hienosäätö helpottuu merkittävästi lopputuloksen ollessa visuaalisesti selkeä ja havainnollinen (kehityspäällikkö).

Erittäin mielenkiintoinen ja tärkeä seuraus oikein tehdystä ja loppuun asti viedystä ja päivitetystä tietomallintamisesta on valtava lisäys todellisessa, kerätyssä datassa koskien esimerkiksi muutoksia, löydettyjä virheitä ja vikoja, työturvallisuutta ja kaikkea mahdollista jota emme edes osaa kuvitella vielä. Havaintojen analysoinnilla voidaan tunnistaa esimerkiksi riskipaikkoja laadun kannalta ja niiden avulla muuttaa suunnitelmia tai työtapoja (kehityspäällikkö).

Laadunvalvonnassa voidaan tarkistukset päivittää tietomalliin. Kerätyn tiedon avulla voidaan etsiä systemaattisia virheitä ja kehittää tämän kautta asioita parempaan suuntaan. Virheistä kommunikointi helpottuu (järjestelmäpäällikkö).

Yrityksessämme olisi oleellista tunnistaa kaiken digitaalisen tiedon arvo ja lähteä hyödyntämään sitä itse, muuten joku muu ehtii ensin. Esimerkiksi Google on jo väläytellyt

kiinnostustaan rakennusalalle. Jos haluamme olla jotain muutakin kuin fyysinen elementtien kasaajaa, meidän täytyy suuntautua enemmän informaatioteknologiaan (kehityspäällikkö).

3.6 Rakentaminen ja myynti -vaihe

Jo nyt on aivan selvästi havaittavissa, että tietomallinnetulla työmaalla mallin käsittely ja käyttäminen mitä moninaisemmissa päivittäisissä tehtävissä on jo rutiinia. Mallin käyttö on tosin vahvasti jakaantunut vanhojen konkareiden ja nuorien välillä. Erityisesti tietomallin visuaalisuus ja asioiden hahmottamisen helppous ovat kuitenkin tekijöitä, joihin kuin huomaamatta vanhatkin ammattilaiset alkavat nojaamaan esimerkiksi työmaan tehtävänsuunnittelukokouksissa. Usein vastustus ja hyötyjen kiistäminen tai vähättely saatetaan johtua lähinnä tietotekniikan vieraudesta, mutta kun tästä päästään yli esimerkiksi niin, että nuori insinööri pyörittää mallia, rakentamisessa erittäin kokenut ja osaava konkariakin tunnustaa edut (projektipäällikkö).

Erääksi tietomallintamisen hyödyistä useat haastateltavat arvioivat esivalmistuksen lisääntymisen. Vaikka jo nykyään erilaisia osia ja komponentteja on tuotteistettu, oikein ja tarkasti tehty tietomallintaminen voisi mahdollistaa esimerkiksi räätälöidymmät esivalmistetut. Tuotteistamisen jatkuva lisääntyminen toimii hyvin yhteen tietomallintamisen kanssa (esimerkiksi projektipäällikkö).

Vaikka jo nykyisinkin jotkut elementtitoimittajat mallintavat itselleen koko tilauksen ja päivittävät suunnittelun ja valmistuksen edistymän nettisivuiltaan luettavissa olevaan malliin, voisi jatkossa yhteisen mallin käyttäminen vähentää työtä molemmilta osapuolilta (projektipäällikkö).

Joka tapauksessa tietomallin muodossa tarjolla oleva aikataulun sekä suunnittelun, valmistuksen ja toimituksen edistymien tarkastelu on helpompaa ja vähemmän virhealtista kuin perinteisemmän paperilla olevan tiedon käyttäminen (projektipäällikkö).

Nykyään suunnitelmat tulevat usein jälkijunassa ja muutenkin rakennetaan vähillä suunnitelmilla. Tietomallinnus siirtää työmaalla tehtävää suunnittelua aikaisemmaksi. ”Mieluummin maksaisin hyvistä suunnitelmista, erityisesti koska työmailla on nykyään kokeamatonta porukkaa, joka ei hoksaa suunnitelmien puutteita vaan menee aina niiden mukaan”. ”Kyllä pitää saada padille tai puhelimelle tietomalli työmaalla käytettäväksi” (vasaava mestari).

Tietomallintamisen apu työnsuunnittelussa on valtava. Massat ja geometriat saadaan helposti ja nopeasti ulos ja niiden avulla pystytään helposti suunnittelemaan työtä ja ohjaamaan urakoitsijoita ja viestimään heille aikataulua, erityisesti tietomallin tarkkuus ja visuaalisuus ovat merkittävä apu (kehityspäällikkö).

3.6.1 Työmaan käynnistäminen

Kunnolla tietomallinnetussa hankkeessa saadaan luotettava kustannustieto ajan mukaisin hintatiedoin päätöksen perustaksi (laskentapäällikkö).

Tietomallinnetussa kohteessa ensimmäisten vaiheiden visualisointi auttaa työmaankäynnistämässä ja vauhtiin saattamisessa, esimerkkinä aiemmin mainitut muottien mallinukset sekä lohkoihin pilkkominen, urakoiden yhteensovittaminen ja esittäminen vaikka aikaulottuvuudella. Urakoitsijan kanssa on huomattavan helppoa käydä urakan sisältöä läpi tietomallin avulla. Aikataulun visualisointi ja tavoitteen asetannan konkretisointi tietomallin avulla tuntuvat potentiaalisilta hyödyiltä. (kehityspäällikkö).

Tietomallia voidaan hyödyntää kultaisten aikaikkunan aikana tekemällä kohteesta huomioita ja kommentoimalla ne tietomalliin, sen rakenneosiin, jotta ne ovat käytettävissä tuotannossa kun rakentaminen alkaa (teknisen toimiston päällikkö).

Oikein ja laadukkaasti tehdyn rakennuksen tietomallin avulla työmaan käynnistäminen vauhdikkaasti ja tehokkaasti helpottuu. Esimerkiksi jo kaivannon muoto ja laajuus on helpommin pääteltävissä tietomallista. Lisäksi korot saadaan paljon tarkemmin oikein tietomallista otettujen leikkauskuvien avulla. Korkojen tarkka ymmärtäminen tuo tuntuvaa säästöä turhan kaivamisen vähenemisenä ja toisaalta kerralla riittävästi kaivaminen on halvempaa kuin palata samaan kohtaan uudestaan syventämään tai laajentamaan kaivantoa. Myös louhinnan kannalta tietomallista otettujen leikkausten käyttö tuo säästöä kasvaneena tarkkuutena (kerralla valmis). Tietomallista otetuista leikkauksista saadaan myös esimerkiksi salaojien paikat, savunpoistokanavat ja väestönsuojan varauloskäynnit tarkasti, jolloin ne voidaan huomioida jo perustuksia kaivettaessa. Ilman tietomallia leikkauksuvia joutuu piirtämään itse ja tällöin tarkkuus ja virheettömyys eivät ole samalla tasolla ja aikaa kuluu paljon (vastaava mestari).

Muottikaluston suunnittelu on helpompaa ja tarkempaa tietomallin avulla kuin perinteisiä tasokuvia käyttämällä. Muottisuunnitelman tekeminen helpottuu ja aikaistuu (vastaava mestari).

Tietomallin olemassaolo auttaa ennakoimaan, helpottaa työmaan suunnittelua ja hankintoja sekä nopeuttaa työmaan käynnistymistä. Esimerkiksi putkiurakoitsijan on helpompi tilata tarpeeksi ajoissa maanalaisten väestönsuojien sinkityt ilmastointiputket tietomallista hahmottamalla kuin tasokuvien perusteella (vastaava mestari).

Tuntuma on sellainen, että mitä enemmän tietomallia käyttää, sitä enemmän uusia hyötyjä paljastuu ja tulee mieleen. Haastateltava tietää vaativansa jatkossa tulevissa hankkeissa tietomallia käyttöönsä, koska rakentamisen aikana mallista on niin paljon hyötyä, jo turhien työvaiheiden poisjäänti tuo selkeää säästöä (vastaava mestari).

Tietomallissa kaikki tarvittava informaatio on helpommin saatavilla ja vieläpä havainnollisemmassa muodossa kuin perinteisesti, jolloin ymmärrys siitä, mitä ollaan tekemässä, on helpompi saavuttaa. (kehityspäällikkö).

Laadun kannalta riskipaikkojen tunnistaminen on tietomallista sen visuaalisuuden ja kattavan tietomäärän johdosta huomattavasti helpompaa kuin 2D-kuvista, jolloin tuotantoratkaisujen ja jopa suunnitelmien muuttaminen on vielä mahdollista ja merkittävästi halvempaa kuin suunnittelemattomien muutostöiden tekeminen rakennusaikana. Lisäksi yksittäisten töiden ja vaiheiden suunnittelun käynnistäminen ja tekeminen on helpompaa tietomallin pohjalta, jolloin rakentaminen saadaan nopeasti käyntiin ja silti suunnitteluketju pysyy mukana. Työmaata käynnistettäessä aika on kriittistä, työmaan ja urakoitsijoiden johtaminen on elintärkeää, eikä työmaalla pitäisi enää joutua suunnittelemaan (kehityspäällikkö).

3.6.2 Runkovaihe

Tietomallin käyttäminen asennussuunnitelman tarkasteluun on erittäin havainnollinen visuaalisuutensa vuoksi, jolloin esimerkiksi asennustapa ja –järjestys on erittäin selkeää ja yksiselitteistä käydä lävitse ennen työvaihetta. Esimerkiksi työvaihetta aloitettaessa käydään kokouksissa aliurakoitsijoiden kanssa, jolloin mallia tarkastelemalla voidaan erittäin havainnollisesti nähdä työhön liittyvien tehtävien vaiheet. Potentiaaliset ongelmakohdat on helpompaa havaita ja siten niihin varautua. Johonkin urakkaan kuuluvat kohteet on helppo korostaa mallista, esimerkiksi muuratut seinät saadaan esiin yhdellä napin painalluksella piirustusten selaamisen sijaan. Eräs mahdollinen rakentamista helpottava hyöty tietomallintamisen käytöstä voisi olla putoamissuojausten osittainen esivalmistaminen vaikkapa ontelolaattatehtaalla, ainakin kaiteiden kiinnitykset voitaisiin tehdä mallinnuksen pohjalta. Nykyisellä työmaalla elementtiasentajat kysyvät lähes päivittäin mallia nähtäville tutkiakseen asennustapaa ja varmistaakseen, että työturvallisuuden kannalta erittäin tärkeät oikeanlaiset asennustasot on oikein tehty (projektipäällikkö).

Rakennuksen tietomallintaminen vähentää häiriöitä yleisesti. Esimerkiksi elementtien asennuksen simulointi aikataulun avulla auttaa parantamaan työnsuunnittelua (laskentapäällikkö).

Tietomallintaminen mahdollistaa JOT-periaatteen ja hukan poistamisen; esimerkiksi koko rungon asennusjärjestyksen aikatauluttaminen ja vaiheistaminen voidaan tehdä niin, että kivet tulevat juuri oikeaan aikaan työmaalle, jotta niitä ei tarvitse odottaa tai ylettömän paljoa varastoida. Tietomallin käyttäminen helpottaa työnjohtajan päivittäistä suunnittelua ja tehtävien ennakoimista, esimerkiksi tarvittavien määrien arviointi on huomattavan helppoa. Oikein mallinnettuna tietomalli helpottaa esimerkiksi raudoituksen esivalmistusta (laskentainsinööri).

Rakentamisvaiheessa suurta hyötyä saadaan leikkauksista halutuista kohdista, kaikki rakenteet näkyvät. Kun malli on mukana padilla, ei tarvitse juosta niin paljoa kopin ja holvin välillä. Työnjohtaja voi raudoitusta tarkastaessaan kuvata kohteen ja kytkeä kuvan tietomalliin ja päivittää rakennusosan statuksen (kehityspäällikkö).

Raudoittajille vastaava mestari on tulostanut kuvia mallista selventääkseen hankkeen monimutkaisten leikapalkkien ja ajoluiskien muotoa. Erityisesti juuri oikeaan tarpeeseen otettujen leikkauskuvien hyöty on valtava, sekä tehtäviä suunniteltaessa että niitä työntekijöille tai aliurakoitsijoille selvitettäessä (vastaava mestari).

Erityisesti hankkeen korkeissa (6m) alimmissa kerroksissa läpivientireikien paikoituksessa tietomallista oli aivan erityisesti hyötyä, sillä reiät sijaitsivat usein päällekkäin ja niiden sijainnin tarkka määrittäminen tasokuvista oli hankalaa, osittain johtuen vajaista merkinnöistä. Usein on vielä niin, että urakoitsija tekee reikäkuvat, mutta työmaan alussa ei aina ole urakoitsijaa edes valittu. Tietomallinnetussa hankkeessa suunnittelija joutuu suunnittelemaan ja mallintamaan myös läpiviennit ja työmaalla on helppo ottaa otsakuva seinästä. Kuva on myös visuaalisuutensa takia helppo hahmottaa (vastaava mestari).

Perustukseen ja runkoon tulevat tartunnat nähdään ”yhdestä kuvasta” kun niitä tarkastellaan tietomallista. Yleensä osa tartunnoista on elementeissä valmiina, mutta osa pitää laittaa valuuun. Aina silloin tällöin on tasokuvien perusteella tilattu elementeissä valmiinakin olevat tartunnat työmaalla asennettavaksi, jolloin ne jäävät hukaksi (vastaava mestari, työmaainsinööri).

Tietomallintaminen mahdollistaa modernit teknologiat, esimerkiksi laserkeilauksen ja lennokit (drone), joista saatavaa dataa voidaan peilata malliin ja joka on myös nykyisin keskeinen virhelähde. Jatkossa varmasti voidaan yhdistää dronella tapahtuva mittaus sekä tietomallin aikataulu-ulottuvuuden seurantaan että mitata esimerkiksi runkoelementtien aseman tarkkuutta ja varmaan vielä automatisoida molemmat. Emme tiedä vielä kaikkia mahdollisuuksia, mitä uudet tekniikat avaavat, kun vain uskallettaisiin lähteä kokeilemaan (kehityspäällikkö).

3.6.3 Sisävalmistusvaihe

Vaikean kohteen tarkastelu taulutietokoneella eli padilla, esimerkiksi talotekniikan sovitukset ahtaissa paikoissa, on huomattavasti helpompi kuin useiden piirustusten selailu. Tässä laajennettu todellisuus helpottaisi hahmottamista vielä merkittävästi lisää (projektipäällikkö).

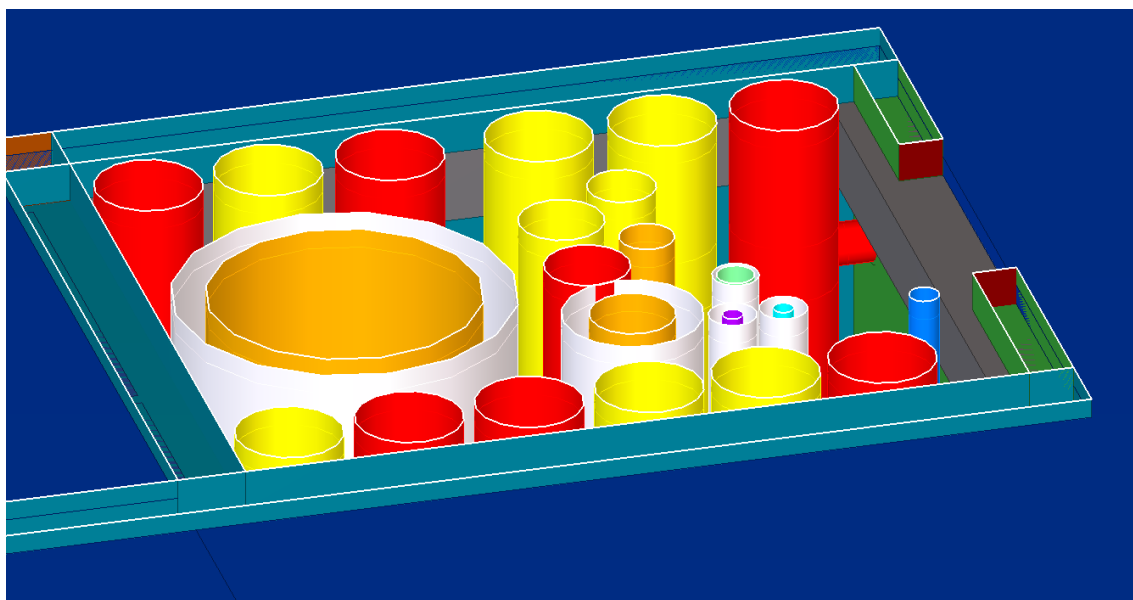
Rakennuksen tietomallintaminen helpottaa materiaalien oikeiden määrien oikea-aikaista tilaamista, esimerkiksi kylpyhuoneiden laatat kerroksittain tai portaittain. Yleensäkin rakentamisvaiheen logistiikka helpottuu määrälaskennan helpottuessa, vaikkapa materiaalien kerrokseen nostaminen. Tarkka tietomalli auttaa varmistamaan saataville riittävät

määrät materiaaleja ja samalla se auttaa vähentämään hukkaa. Padilla toimiva mallin katseluohjelma helpottaa työntekijöiden ja työnjohtajien kommunikointia, visuaalisuus on auttaa luomaan yhteisen käsityksen tavoitteesta (laskentapäällikkö).

Augmented reality tarjoaa valtavasti potentiaali sekä tekemisen suunnitteluun että tarkastukseen. Asukasmuutosten hallinta ja toteuman seuranta helpottuu mallin kautta (kehityspäällikkö).

Esimerkiksi sisustuslevyt voidaan tietomallinnetussa kohteessa tilata melkein pä kiinnitysuuvien tarkkuudella. Sijaintikohtainen määrätieto auttaa esimerkiksi materiaalien kerroksiin noston kohdentamisessa (laskentainsinööri).

Selvitettäessä LVI-urakoitsijalle erittäin ahtaaseen putkikuiluun tarvittavien asennusten järjestystä ja sijaintia kerroksittain otetuista leikkauskuvista oli aivan merkittävää etua. Tälläkin työmaalla kävi aluksi jossakin vaiheessa niin, kuten perinteisesti on yleistä, että LVI-urakoitsijan putkimiehet tulivat töihin ja tekivät omat vetonsa LVI-piirustuksen mukaisesti ja muutamia viikkoja myöhemmin töihin tulleet IV-putkiasentajat huomasivat lämpöputkien olevan asennettu siten, että IV-putkien asennus ei onnistu purkamatta aiemmin tehtyjä lämminvesiputkia. Tämän jälkeen alettiin tulostamaan Kuva 16 mukaisia leikkauskuvia ja ongelmia ei enää ollut. Ongelman oli aiheuttanut se, että putkimiesten käyttämässä lämpölinjapiirustuksessa ei ollut tarkkoja sijainteja eikä korkoja näkyvissä puhumattakaan IV-putkista ja sähkökaapelitikkaista (vastaava mestari).



Kuva 16. Putkihormin leikkauskuva (YIT).

Jos asukkaan jo myyntivaiheessa tilaamat muutokset on päivitetty malliin, on niidenkin toteutumisen seuranta helppoa (arkkitehti).

Tietomallin sisältämä tiedon määrä, detaljit ja speksit rakenteista ja esimerkiksi talotekniikasta, tuovat sisävalmistusvaiheessa paljon apua. Jos sisävalmistusvaiheessa tehtävät laadun tarkastusten ja mittauksen tulokset, kuin myös esimerkiksi työturvallisuushavainnot, kytkettäisiin tietomallin, saataisiin runsaasti todellista, oikeata dataa myöhemmin analysoitavaksi. Juurisyiden etsiminen esiintyviin ongelmiin helpottuisi merkittävästi, johtuen esimerkiksi kehittyneiden analytiikkatyökalujen käytön mahdollistumisesta. Nykyisellään edellä mainitun kaltainen tieto ei päädy mihinkään keskitettyyn tietokantaan (kehityspäällikkö).

Tietomalli helpottaa myös aikataulun kommunikointia ja valvontaa. Myös sisävalmistusvaiheessa mahdollistuu uusien tekniikoiden käyttö, lennokin lisäksi esimerkiksi laajennettu todellisuus (augmented reality) virtuaalilasien avulla. Tulevaisuudessa työntekijöiläkin tulee olemaan mallit käytössään tableteissaan tai puhelimissaan ja niihin voidaan yhdistää hankalien vaiheiden työohjeet ja vaikkapa kuivumisajat, joita voidaan seurata reaaliaikaisesti (kehityspäällikkö).

3.6.4 Luovutus

Päivitetty malli voidaan luovuttaa taloyhtiölle, joka voi hyödyntää sitä tulevaisuudessa talon ylläpidossa tai remonteissa (esimerkiksi laskentapäällikkö, laskentainsinööri).

Haluaisin että malliin on syötetty kaikki tiedot myös muutoksista ja laitteista ja asukas- ja huoltokansiot saataisiin mallista. Helposti voitaisiin tehdä visuaalinen ja näyttävä demo pelastumisreitistä. Oikein tehty ja loppuun asti hyödynnetty tietomalli on myös imago- ja brändikysymys, sillä jopa kuluttaja-asiakkaat voivat muodostaa näyttävästi ja ammattimaisesti tehtyjen visuaalisten apuneuvojen perusteella kuvan korkean luokan tuotteesta (kehityspäällikkö).

Tietomallin avulla itselle luovutus rikastuu merkittävästi, esimerkiksi suunnitelman mukaisuuden tarkistaminen on helppoa ja ajantasainen kirjaaminen reaaliaikaistaa seurannan. Valokuvat voidaan liittää tietomalliin. Kirjaamalla puutteet tietomallimenetelmällä niiden korjaaminen on helpompi muistaa, sillä keskeneräiset työt voidaan korostaa mallissa. Dataa vioista ja virheistä kertyy koko ajan tietokantaan, josta sitä voidaan hyödyntää laadun- ja toiminnankehittämisessä (kehityspäällikkö).

Loppuun asti päivitetyn ja tietorikkaan mallin avulla voidaan onkia näkemystä siitä miten meillä menee; tekemällä analyyskejä ja tutkimuksia datasta tarkemmalla tasolla, esimerkiksi ei pelkästään kustannuksista vaan myös virheistä ja muista laatutekijöistä. Tämä johtaa parempiin suunnitelmiin ja rakentamisen suunnitteluun ja ohjaamiseen (järjestelmäpäällikkö).

Tulevaisuudessa asunnonostajatkin alkavat vaatia, että talosta on pätevä ja ajantasaistettu tietomalli olemassa (kehityspäällikkö). Asiakas, myös asunnonostaja, saa selvää lisäarvoa, erityisesti pitemmällä tähtäimellä, siitä että tietomalli luovutetaan taloyhtiölle ja omasta asunnostaan saa virtuaalisen mallin, johon on tehty kaikki työnaikana tehtyt muutokset. Tietomalli toimii perustana huoltokirjalle ja on arvokas lähtötieto esimerkiksi tuleville muutostöille. Yleisesti, tieto mahdollistaa uusia asioita (teknisen toimiston päällikkö).

3.7 Yleisiä havaintoja

Haastateltavan mukaan ehdottomasti pitää tietomallintaa hankkeet, koska tällöin niiden hallittavuus paranee merkittävästi, erityisesti havainnollisuus lisääntyy auttaen vähentämään virheitä, suunnittelunohjaus on helpompaa ja suunnitelmat parempilaatuisia sekä kokonaisprosessin hallinta on parempi. Jos mallinnetaan oikeaan tarpeeseen, suunnittelukustannukset eivät nouse (projektipäällikkö).

Hyvä maine ja edistyneet käytännöt tietomallintamisessa auttavat myös kilpailussa laadukkaasta työvoimasta, sillä nuoria, vastavalmistuneita insinöörejä ja mestareita eivät kiinnosta ”ruutupaperityömaat”, vaan he haluavat olla mukana digitaalisessa maailmassa, johon he ovat kasvaneet sisään koko ikänsä lapsuudesta alkaen. Digitaalinen työympäristö siis tekee rakennustyömaasta houkuttelevamman (teknisen toimiston päällikkö).

”Keskeinen ajuri omassa ohjelmassani on työmaiden houkuttelevuuden lisääminen tulevaisuuden osaajien silmissä ja tietomallintaminen on yksi osatekijä muuttamassa mielikuvaa työmaista fiksuksi ja jopa hauskaksi paikaksi, jossa diginatiivit nykynuoret viihtyvät.” (kehityspäällikkö).

Erittäin kokenut vastaava mestari: ”Kyllä tähän mallinnukseen on mentävä”.

Rakennuksen tietomallinnus tuo merkittävää etua kaikkiin vaiheisiin, mukaan lukien työmaansuunnittelu ja valmistaminen (arkkitehti).

Nykymaailmassa osaoptimoidaan työn määrää suunnittelussa ja sovittaminen ja vaikeiden asioiden ratkaiseminen jää työmaalle, pahimmillaan urakoitsijalle. Tietomallintaminen kääntää tämän oikein päin (kehityspäällikkö).

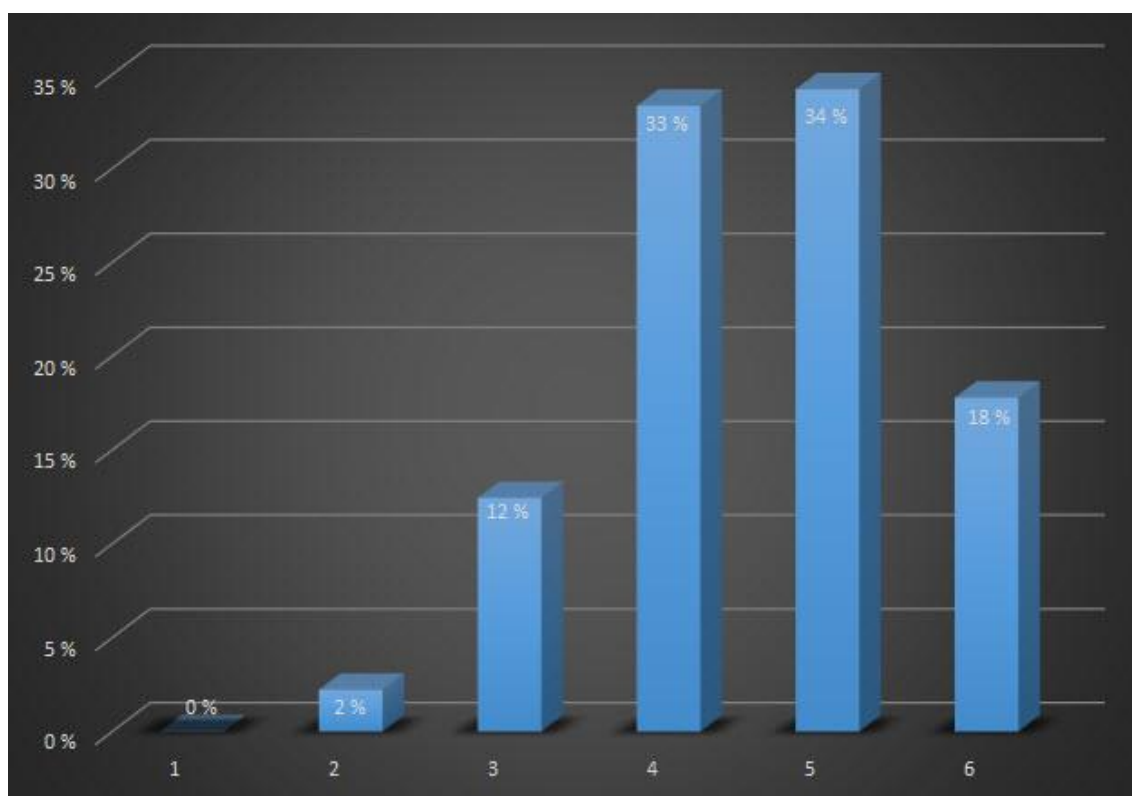
3.8 Väitettyjen hyötyjen arviointikyselyn vastaukset

3.8.1 Yleistä tarkastelua

Kuva 17 esitetään haastatteluiden toisessa osassa tehdyn arviointikyselyn vastausten jakauma. Koska väitteiden arviointiin osallistui 15 haasteltavaa, arvioita kertyi yhteensä 450 kappaletta.

Yleisenä havaintona voi todeta, että arviointikyselyssä käytetty asteikko, yhdestä kuuteen, oli todennäköisesti liian suuri, sillä nyt arviota yksi (1) ei esiinny ollenkaan ja arviota kaksi (2) on vain pari prosenttia. Toisaalta keskusteluissa kävi ilmi yleinen myönteisyys rakennuksen tietomallinnusta kohtaan, joten tulos voi toki olla myös kuvaava. 12 % arvioista on arvosanaa kolme (3), jolloin asteikon negatiiviselle puolelle asettuu yhteensä 14 % vastauksista. Loput 86 % vastauksista ovat siis positiivisia, jakautuen siten, että arvioita neljä (4) ja viisi (5) on kumpiakin noin kolmannes vastauksista ja vajaa viidennes arvioista, 18 %, on maksimissa eli arviota kuusi (6).

Kaikkien vastausten keskiarvo on 4,5, keskimmäisen luvun ollessa viisi (5).



Kuva 17. Väitettyjen hyötyjen arviointikyselyn vastausten jakauma.

3.8.2 Arviointikyselyn tulokset

Kaikkien 30 väitteen arvioiden keskiarvot suuruusjärjestyksessä esitetään Kuva 18. Kuvan asteikko on rajattu alkamaan arvosanasta 3,0, jolloin kysymysten saamien keskiarvojen erot nousevat selvemmin esiin. Kuvaan on vihreällä pystyviivalla merkitty arvosana 5,0, jota paremman keskiarvon saivat seuraavat seitsemän väittämää:

30. Tietomallintaminen maksaa itsensä takaisin
10. Suunnitelmiin jäävien virheiden väheneminen
17. Parantunut kommunikaatio

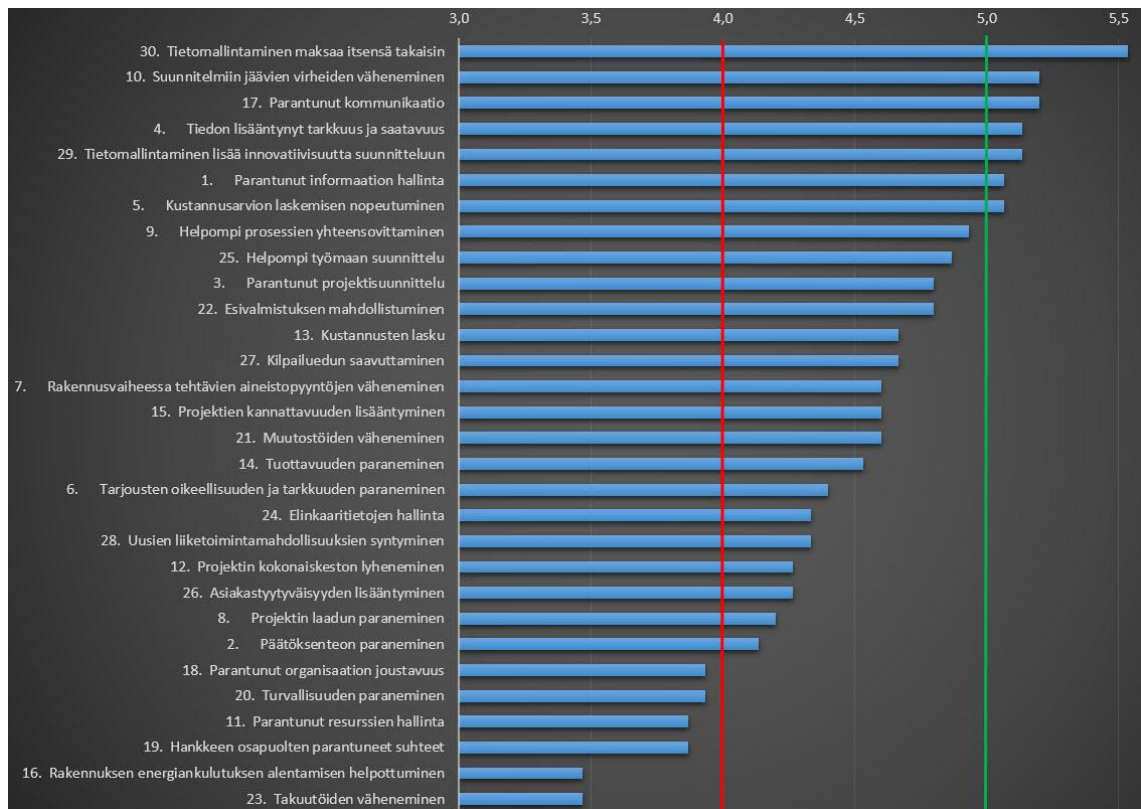
4. Tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus
29. Tietomallintaminen lisää innovatiivisuutta suunnitteluun
1. Parantunut informaation hallinta
5. Kustannusarvion laskemisen nopeutuminen

Punaisella pystyviivalla kuvaan on merkitty arvosana 4,0, jota huonomman keskiarvon saivat seuraavat kuusi väittämää:

18. Parantunut organisaation joustavuus
20. Turvallisuuden paraneminen
11. Parantunut resurssien hallinta
19. Hankkeen osapuolten parantuneet suhteet
16. Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen
23. Takuutöiden väheneminen

Loput 17 väittämää haastateltavat arvioivat edellä mainittujen väliin eli arvioiden keskiarvot asettuivat 4,1:stä 4,9:ään:

9. Helpompi prosessien yhteensovittaminen
25. Helpompi työmaan suunnittelu (esim. kulku, varastot, nostot)
3. Parantunut projektisuunnittelu
22. Esivalmistuksen mahdollistuminen
13. Kustannusten lasku
27. Kilpailuedun saavuttaminen
7. Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen väheneminen
15. Projektien kannattavuuden lisääntyminen
21. Muutostöiden väheneminen
14. Tuottavuuden paraneminen
6. Tarjousten oikeellisuuden ja tarkkuuden paraneminen
24. Elinkaaritietojen hallinta
28. Uusien liiketoimintamahdollisuuksien syntyminen
12. Projektin kokonaiskeston lyheneminen
26. Asiakastyytyväisyyden lisääntyminen
8. Projektin laadun paraneminen
2. Päätöksenteon paraneminen



Kuva 18. Väitetyt hyödyt arvioidussa paikkaansa pitävyyssjärjestyksessä.

Selkeästi paikkaansa pitävimmäksi haastateltavat arvioivat väittämän #30, jonka mukaan tietomallintaminen maksaa itsensä takaisin. Tämän väitteen arvosanojen keskiarvo oli 5,5. Merkille pantavaa on, että yksi vastaajista arvioi tämän väittämän arvosanalla kolme, mutta kaikki muut arvioivat sen arvosanalla viisi tai kuusi. Kommenteissaan haastateltavat vahvistivat väitteen paikkaansa pitävyyden selkeästi.

Aivan yhtä selvällä erolla muihin nähden huonoimman arvosanan, 3,5 saivat seuraavat kaksi väittämää:

- 16. Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen
- 23. Takuutöiden väheneminen

Keskusteluissa haastateltavien kanssa ilmeni, että väittämä #16 - Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen – oli vaikea arvioitava, koska aihe ei ollut monille tuttu.

Väitteen #23 – Takuutöiden väheneminen- kommenteissa muun muassa mainittiin takuu- korjausten liittyvän virheellisiin materiaaleihin.

Kuva 19 on esitetty kaikki arviointikyselyn vastaukset lajiteltuna sekä kysymysten keskiarvon että vastaajakohtaisen keskiarvon mukaan. Vastaukset on lisäksi värikoodattu punainen-keltainen-vihreä järjestelmään siten, että vastaus 1 saa punaisen värin, 6 vihreän värin ja keskimääräinen arvo keltaisen. Muiden arvojen värin taulukkolaskentaohjelma laskee näiden väliin.

Väitetty hyöty	Haastattelun järjestysnumero:	16	9	5	11	3	6	13	10	7	1	14	4	2	15	8
30. Tietomallintaminen maksaa itsensä takaisin	5,5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	3	4	6
10. Suunnitelmiin jäävien virheiden väheneminen	5,2	5	4	6	6	6	6	5	6	5	6	4	5	4	5	5
17. Parantunut kommunikaatio	5,2	5	6	6	5	5	6	5	6	6	4	5	5	5	4	5
4. Tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus	5,1	6	6	4	6	4	5	4	6	6	5	5	6	5	4	5
29. Tietomallintaminen lisää innovatiivisuutta suunnitteluun	5,1	6	6	6	5	6	6	5	3	6	5	4	5	5	5	4
1. Parantunut informaation hallinta	5,1	6	5	5	4	6	4	5	6	5	5	5	6	5	5	4
5. Kustannusarvion laskemisen nopeutuminen	5,1	6	4	6	5	6	4	6	5	5	5	4	5	6	4	5
9. Helpompi prosessien yhteensovittaminen	4,9	5	6	6	6	5	6	5	5	2	4	5	5	4	5	5
25. Helpompi työmaan suunnittelu (esim. kulku, varastot, nostot)	4,9	6	5	5	5	5	5	5	4	5	4	4	4	6	4	6
3. Parantunut projektisuunnittelu	4,8	5	5	4	5	5	5	6	5	4	4	5	5	5	4	5
22. Esivalmistuksen mahdollistuminen	4,8	6	5	5	6	5	6	2	5	6	5	5	4	4	4	4
13. Kustannusten lasku	4,7	5	6	6	5	5	5	6	4	4	5	3	3	3	5	5
27. Kilpailuedun saavuttaminen	4,7	6	5	6	5	5	6	4	3	4	5	4	5	4	5	3
7. Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen väheneminen	4,6	4	5	5	5	5	3	6	5	4	6	4	4	5	4	4
15. Projektien kannattavuuden lisääntyminen	4,6	5	5	6	6	5	3	6	4	5	5	4	3	3	5	4
21. Muutostöiden väheneminen	4,6	5	6	6	5	4	4	3	5	5	5	4	4	5	5	3
14. Tuottavuuden paraneminen	4,5	6	5	6	5	4	5	6	4	4	5	4	3	4	4	3
6. Tarjousten oikeellisuuden ja tarkkuuden paraneminen	4,4	4	6	4	5	4	4	6	4	4	5	4	4	5	4	3
24. Elinkaaritietojen hallinta	4,3	6	4	3	4	3	5	5	4	5	5	4	4	5	3	5
28. Uusien liiketoimintamahdollisuuksien syntyminen	4,3	5	6	6	4	5	6	5	3	5	3	4	5	3	3	2
12. Projektin kokonaiskeston lyheneminen	4,3	5	5	5	6	5	4	5	4	4	3	4	3	3	4	4
26. Asiakastytyväisyyden lisääntyminen	4,3	5	5	4	3	5	5	4	5	4	4	5	4	3	4	4
8. Projektin laadun paraneminen	4,2	5	5	6	4	5	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3
2. Päätöksenteon paraneminen	4,1	5	4	4	4	5	3	4	5	4	4	4	5	4	4	3
18. Parantunut organisaation joustavuus	3,9	4	5	6	5	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	2
20. Turvallisuuden paraneminen	3,9	5	4	3	5	5	4	5	4	3	4	5	2	4	3	3
11. Parantunut resurssien hallinta	3,9	4	4	5	5	4	4	4	4	3	3	4	3	3	3	5
19. Hankkeen osapuolten parantuneet suhteet	3,9	4	5	4	5	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4
16. Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen	3,5	4	4	3	4	3	4	2	4	5	3	4	4	3	3	2
23. Takuutöiden väheneminen	3,5	4	5	4	4	4	4	3	4	4	2	4	2	3	3	2

Kuva 19. Kaikki arviointikyselyn vastaukset lajiteltuna kysymysten keskiarvon ja vastaaja-kohtaisen keskiarvon mukaan.

Haastateltavien yleistä näkemystä rakennuksen tietomallintamista kohtaan voidaan arvioida vastaajakohtaisista keskiarvoista. Vain yhden vastaajan arvioiden keskiarvo oli alle neljän eli 3,9. Kolme arvioissaan positiivisinta henkilöä päätyi keskiarvossa viiteen tai yli: 5,1; 5,0; 5,0.

4. TULOKSET

4.1 Haastatteluissa tärkeimmiksi nousseet hyödyt

Tässä tutkimuksessa toteutettiin 18 teemahaastattelua, joista yksi keskeytyi haastateltavan aikataulun kireyden vuoksi ja kahden johtajan haastatteluissa päädyttiin keskustelemaan diplomityötä ohjaavasti ja yleisemmällä tasolla. Lopuista 15 teemahaastattelusta nousi esiin suuri joukko sekä toteutuneita että erityisesti potentiaalisia hyötyjä. Mielenkiintoista oli havaita, että suurimmalla osalla haastateltavista oli selkeästi positiivinen kuva rakennuksen tietomallintamisesta.

Yrityksen tietomallintamisen nykytilasta käsitys ei ollut kovin korkea ja kokemukset hyödyistä olivat vähintäänkin vaihtelevia, mutta odotusarvot tulevista hyödyistä yrityksen tietomallintamisen tason noustessa ja käytäntöjen vakiintuessa olivat suuret. Osa haastateltavista oli selvästi perehtynyt tietomallintamisen tarjoamiin mahdollisuuksiin ja selvästi miettinytkin kuinka tietomallintamista kannattaisi hyödyntää omalla vastuualueellaan.

Vaikka esiin nousseet aiheet olivatkin joskus ristiriitaisia keskenään, on selvästi havaittavissa joukko hyötyjä, jotka nousivat esiin useiden haastateltavien kokemuksissa ja odotuksissa. Seuraavassa on näitä hyötyjä käsitelty erään väliotsikkojoukon alla, mutta ryhmittely voisi hyvin toisenlainenkin, kuten esimerkiksi luvussa 4.2 yrityksen strategiaan sidottaessa.

Visuaalisuus

- Visuaalinen hahmottaminen helpottaa kohteen houkuttelevuuden ja myytävyyden tarkastelua jo hankkeen alkuvaiheessa. Alusta asti oikein tehty mallintaminen mahdollistaa visuaalisuutensa vuoksi myös erilaisten sidosryhmien, esimerkiksi asukkaidenkin, mukaan ottamisen suunnitteluun jo aikaisessa vaiheessa.
- Tulevien asukkaiden houkutteluun käytetään usein havainnekuvia, jotka on mahdollista saada suoraan tietomallista. Markkinointimateriaalien luominen voidaan mahdollistaa tietomallista, jolloin sekin päivittyy ja kehittyy suunnitelmien edetessä tai muuttuessa. Tietomallista tehtävien fotorealististen kuvien tekeminen helpottuu koko ajan sovellusten kehittyessä.
- Virtuaalinen tutustuminen tulevaan asuntoon tulee olemaan ehdoton kilpailuvaltti tulevaisuudessa. Virtuaaliseen asuntoon voidaan yhdistää vaikkapa dronella kuvattu todellinen näköala, jolloin ainakin hienolla paikalla sijaitsevien asuntojen myynti helpottuu entisestään. Tietomallista tehtävä virtuaalitodellisuus mahdollistaa kovaa vauhtia sovellusten ja algoritmien kehittyessä ja esimerkiksi tietokonepelimoottorien soveltamisella.

- Visualisointi auttaa hahmottamaan suunnitelmia nopeammin ja yksiselitteisesti. Hankkeen kokouksissa eri osapuolten välillä visuaalisuus - ja jopa virtuaalitodellisuus - lisää selkeyttä ja vähentää väärin ymmärtämisen vaaraa lisäten samalla tietoisuutta toisten osaamisalueiden tilanteesta ja suunnitelmista sekä rohkaisee kommentoimaan niitä. Mahdollisesti siis yleinen halukkuus ja ilmapiiri yhteistyöhön paranevat.
- Valmistettavuuden ja toteutettavuuden arviointi on helpompaa tehdä tietomallista kuin perinteisistä 2D- tai 3D-kuvista.
- Työsuunnittelussa rakennuksen tietomallin tarkkuus ja visuaalisuus ovat merkittävä apu, esimerkiksi massat ja geometria saadaan nopeasti ja tarkasti mallista. Työmaan ensimmäisten tehtävien visualisointi auttaa työmaan käynnistämässä ja vauhtiin saattamisessa. Keskusteluissa urakoitsijan kanssa urakkaan kuuluvat kohteet on helppo korostaa tietomallista.
- Näyttämällä esimerkiksi taulutietokoneen ruudulta vaikean kohdan suunnitelmat 3-ulotteisena kuvana, josta voidaan korostaa haluttuja asioita, saadaan koko työryhmällä yksiselitteinen käsitys halutusta toteutuksesta. Tietomalli voisi olla katseltava myös työryhmien puhelimitse tai taulutietokoneissa. Erityisesti talotekniikan sovittamisessa ahtaisiin paikkoihin tarkasta visuaalisesta mallista on suurta hyötyä.

Suunnittelun laatu ja rakentamiskustannukset

- Oikein tehty tietomallintaminen johtaa suunnittelun aikaistumiseen ja parempaan kattavuuteen. Tietomallinnuksen luonteen vuoksi ja kokonaisuuden helpottuneen tarkastelun johdosta suunnittelu syntyy aiempaa laadukkaampana ja valmiimpana siten, että lähempänä rakentamista tai sen aikana ilmenee vähemmän virheitä tai puutteita.
- Esimerkiksi talotekniikan vaatimat tilat on mahdollista suunnitella oikein jo luonnosteluvaiheessa, jos hanke on alusta asti tehty tietomallintamalla ja eri osapuolet on otettu sen mahdollistamana ajoissa mukaan. Tämän seurauksena esimerkiksi hormisijoitukset ovat oikein jo aikaisessa vaiheessa, joten tiedot rakennuslupaa ja myyntiä varten asuntojen pinta-alojen osalta eivät enää muutu suunnittelun edistytessä.
- Tietomallinnetun hankkeen suunnitelmista saadaan helposti loputon määrä pohjia, leikkauksia ja muita piirustuksia rakennuslupakuvia varten. Kuvat ovat aina ajan tasalla, sillä ne ovat näkymiä tietomalliin. Periaatteessa lupakuvat voivat olla valmiit jo luonnossuunnittelun jälkeen.
- Tietomallinnus tukee erinomaisesti esimerkiksi solmutyötä tai big room – mallia, jotka puolestaan johtavat parempaan laatuun ja asioiden tekemiseen aiemmin.
- Oikea tietomallintaminen sisältää vaatimuksen suunnittelun tarkkuudesta ja tuotannollisten ratkaisujen tekemisestä; vaikeita kohtia jää vähemmän työmaalle pohdittavaksi. Sumeiden ratkaisujen väheneminen vähentää niin sanottuja ”20 tonnin mokia”, jotka usein ovat jo tehdyn purkamista ja uudelleen tekemistä.
- Huolellisesti tehty tietomalli helpottaa läpivientien tarkkaa suunnittelua sekä paikalla rakennettaviin että esivalmistettuihin osiin, jolloin voidaan mahdollisesti

säästää yleisistä 10 000 euron poraus-, piikkaus ja paikkauskustannuksista porrashuonetta kohti.

- Tuotannon- ja työmaansuunnittelu helpottuu luontaisesti rakennuksen tietomallinnuksen kautta. Edellä mainittu suunnittelun parempi laatu ja kattavuus sekä tietomallin havainnollisuus johtavat tähän. Erityisesti vaikeissa kohteissa esimerkiksi elementtiasennusten suunnittelu nostosuunnitelmiseen helpottuu ja havainnollistuu varsinkin ajassa etenevää simulointia käyttäen. Helpottunut havainnollinen suunnittelu lisää työturvallisuutta.
- Laadun kannalta riskipaikkojen tunnistaminen on tietomallista sen visuaalisuuden ja kattavan tietomäärän johdosta huomattavasti helpompaa kuin 2D-kuvista ja voidaan tehdä hyvissä ajoin siten, että tuotantoratkaisuiden ja jopa suunnitelmien muuttaminen on vielä mahdollista ilman ylimääräisiä kustannuksia.
- Tarkemmat ja kattavammat suunnitelmat auttavat vähemmän kokeneita työnjohtajia ja työntekijöitä välttämään aikaa ja kustannuksia aiheuttavia virheitä.

Törmäystarkastelut ja muut tekniset analyysit sekä simuloinnit

- Törmäystarkastelujen tekeminen yhdistetystä mallista, tai tulevaisuudessa alun perin integroidusti tehdystä niin sanotusta iBIM - mallista, on merkittävä etu suunnittelussa tapahtuneiden päällekkäisyyksien ja puutteiden löytämiseksi. Tehtävien automatisointi (esimerkiksi säännöllinen regressiotestaus, yrityksen mallinnusohjeistuksen noudattamisen tarkistaminen) ja tarkentaminen sovelluksen skripteillä tai koodilla on mahdollista ja parantaa analyysien laatua ja kattavuutta.
- Huolellisesti tietomallinnetun hankkeen energian kulutuksen laskeminen helpottuu ja nopeutuu. Muutokset suunnitelmissa ovat tarvittaessa nopeasti siirrettävissä ulkoisiin laskentaohjelmiin. Edellä mainittu pätee myös hiilijalanjäljen laskemiseen.
- Tietomallinnus helpottaa reikä tarkasteluiden tekemistä. Tehtävä on myös automatisoitavissa, jos tietomalli tehty loppuun asti tarkasti ja sisältää kaikki osa-alueet.
- Erilaiset simulaatiot, kuten esimerkiksi palo- ja evakuointisimulaatiot voivat auttaa alentamaan kustannuksia esimerkiksi paloluokitusten alenemisella.
- Asennussimulaatioilla voidaan lisätä työturvallisuutta esimerkiksi elementtien asennuksessa sekä jouhevoittaa työtä ja välttää yllättäviä esteitä ja hidasteita.
- Putoamissuojaussuunnittelukin on ainakin osittain automatisoitavissa kuten myös tarvittavan kaluston määrälaskenta.

Pikamassoittelu ja määrälaskenta

- Jo tontti-investointi vaiheessa tietomallintamalla tehtävä pikamassoittelu auttaa hyödyntämään rakennusoikeuden, helpottaa nopeita vaihtoehtotarkasteluja sekä nopeuttaa kustannuslaskentaa.
- Hankesuunnittelussa tarkan ja oikeilla objekteilla tehdyn tietomallintamisen hyöty kustannuslaskennan nopeuteen on merkittävä. Vaihtoehtotarkasteluja ehdittää laskea useita nopeammin kuin 2D-piirustusten avulla yksi. Tehokkaampia tilaratkaisuja etsiessä vaihtoehtojen riittävän tarkka kustannuslaskenta voi olla niin nopeaa, että se ei enää rajoita tarkasteltavien vaihtoehtojen määrää.

- Verrattuna perinteisesti 2D-kuvista tehtävään määrälaskentaan inhimilliset virheet vähenevät nopeissa vaihtoehtotarkasteluissa.

Informaation saatavuus ja yhteistyö

- Alusta asti tietomallinnetussa hankkeessa eri osapuolet tulevat aiemmassa vaiheessa mukaan suunnitteluun, jonka johdosta yhteistyön tekeminen lisääntyy.
- Yhteisen tietomallin käyttö helpottaa asioiden tekemisten seurantaan, kuten esimerkiksi suunnittelutyön etenemistä ja aikataulussa pysymistä.
- Tietomallintaminen parantaa kommunikointia eri osapuolten välillä ja vähentää kyselyitä. Viimeisin tieto ja suunnittelun tilanne on tarjolla kaikille osapuolille.
- Myös kokouksista poissa olleilla on käytettävissään sama, ajantasainen informaatio aina ajan tasalla pidettävän yhdistetyn mallin kautta.
- Suuri osa rakentamisessa tarvittavista tiedoista voidaan sisällyttää rakennuksen tietomalliin, jolloin ne ovat helposti kaikkien osapuolten saatavilla ja paperien määrä vähenee. Esimerkkinä mainittakoon vaikkapa käyttöönotossa tarvittavat päätelaitteiden tiedot, palvelualuekaaviot ja kulunvalvonnan tiedot.
- Hyvin tehdyn tietomallin saatavilla olo työmaalla auttaa merkittävästi vaikeiden kohtien työnsuunnittelua sekä tavoitetilan ja työjärjestyksen opastamista työntekijöille ja aliurakoitsijoille. Oikea tietomalli auttaa työmaata aloitettaessa myös niin, että käytettävissä on loputon määrä leikkauksia esimerkiksi kaivuussyvyyden ja laajuuden tarkkaa määrittelyä varten.
- Itselle luovutuksessa ja käyttöönotossa suunnitelman mukaisuuden tarkastaminen on tietomallin avulla helpompaa ja toisaalta välitön puutteiden kirjaaminen mahdollistaa reaaliaikaisen seurannan.

Hankinnat, modulaarisuus ja esivalmistus

- Tietomallintaminen heti hankkeen alusta asti edesauttaa ja ohjaa kohti modulaaristen ratkaisujen käyttöä. Tietomallintamisella voidaan myöskin ohjata suunnittelua valitsemaan ratkaisuja ja tuotteita siten, että voidaan hyödyntää keskitettyä hankintaa ja laajavolyymisiä, pitkäkestoisia hankintasopimuksia.
- Esivalmistuksen lisääntyminen on luonnollinen seuraus tietomallintamisen mahdollistamasta ohjauksesta kohti modulaarisia ratkaisuja. Suunnittelijoille, alkaen arkkitehteistä, voidaan antaa mallikirjasto, josta kylpyhuoneet, keittiöt ja miksei muitakin osia on helppo sijoittaa huoneistoihin. Yrityksen käsikirjan noudattaminen tulee tavaksi ja sen seuranta helpottuu.
- Elementtiluetteloiden ja muiden listausten tekeminen tietomallista on selkeästi ja merkittävästi nopeampaa kuin 2D-kuvista, jolloin myöskin tarjouspyynnöt saadaan nopeasti liikkeelle.
- Rakentamisvaiheen logistiikka helpottuu tietomallinnuksen myötä, esimerkiksi materiaalien tilausten oikea-aikaisuus ja kohdentaminen kerroksiin ja porraskäytäviin onnistuu paremmin.

Digitaalisuus ja uudet palvelukonseptit

- Työvoimakilpailussa niin rakennuksen tietomallinnuksen kuin erilaisten toiminnanohjausjärjestelmien käyttö lisää työnantajan houkuttelevuutta nuorten aikuisten parissa verrattuna niin sanottuun vanhan ajan kynä ja paperi – vaihtoehtoon.
- Edistysellinen tietomallipohjainen 3D-visualisointi ja virtuaali- tai laajennettu todellisuus asiakasrajapinnassa ja markkinoinnissa vahvistaa kuvaa modernista ja dynaamisesta rakentajasta.
- Kuntien sähköisten palveluiden lisääntyminen mahdollistaa rakennuslupien käsittelyn tietomallipohjaisesti. Tämä tultaneen joskus muuttamaan myös pakolliseksi, vaikka aikataulusta ei olekaan vielä tietoa.
- Monimutkaisten työvaiheiden, kuten esimerkiksi kosteiden tilojen rakentaminen, ohjeet kuivumis- ja aukioloaikoineen voidaan sisällyttää tietomalliin, josta ne ovat saatavilla työtä tekevälle taulutietokoneessa tai puhelimesta toimivalla sovelluksella. Tiedon kulku toiseen suuntaan on erittäin arvokasta, kuten esimerkiksi töiden ja vaiheiden etenemisen kirjaaminen ja laadunvarmistusmittaukset ja kuvaaminen.
- Rakennuksen tietomallinnuksesta etenevä tietosisällön rikastaminen avaa paljon uusia mahdollisuuksia todellisen tiedon keräämiseen ja analysointiin. Esimerkteinä voidaan mainita rakentamisen aikana tehdyt muutokset, havaitut virheet, viat ja alustavat arviot niiden syistä sekä työturvallisuuteen liittyvät asiat. Analysoimalla riittävää määrää kerättyä tietoa on mahdollista löytää riippuvuuksia ja syitä tapahtumille ja sen seurauksena muuttaa suunnitelmia tai työtapoja. Toden näköisesti emme pysty vielä edes kuvittelemaan mitä kaikkea hyötyä tällaisesta suurten tietomassojen keräämisestä ja analysoinnista (big data) voi olla.

Taulukko 2 on edellä käsiteltyjä teemahaastatteluissa esiin tulleita hyödyistä yhdisteltyjä aihepiirejä kytketty ristiin YIT:n asuntoprosessiin. Aihepiirit on listattu pystyakselille ja asuntoprosessin 10 alivaihetta vaaka-akselille. Kunkin aihepiirin relevanttiutta jokaiseen asuntoprosessin alivaiheeseen on arvioitu kolmiportaisella asteikolla ja tulos esitetty joko tyhjällä ruudulla tai yhden tai kahden plus - merkin (+) avulla. Plus-merkkien määrä kuvaa haastatteluissa tietystä alivaiheesta keskustellessa esiin tulleiden hyötyjen yleisyyttä tai merkitystä. Taulukko on suuntaa-antava, sillä useat hyödyt eivät kytkeydy tarkasti johonkin vaiheeseen, vaan koskevat koko hanketta tai suurta osaa siitä.

Taulukko 2. Teemahaastatteluissa esiin tulleiden tietomallintamisen hyötyjen kytkeytyminen yrityksen asuntoprosessiin.

Yrityksen asuntoprosessin alivaiheet	Tontti-investointi	Hankesuunnittelu	Luonnossuunnittelu	Pääpiirustussuunnittelu	Työpiirustussuunnittelu	Tuotantosunnittelu	Työmaan käynnistäminen	Runkovaihe	Sisävalmistus	Luovutus (käyttöönotto)
Teemahaastatteluissa esiin nousseet aihepiirit, jotka hyötyvät tietomallintamisesta										
Visuaalisuus, havainnollisuus	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Suunnittelun laatu ja rakentamisen kustannukset		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Pikamassoittelu, määrälaskenta	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Törmäystarkastelu, tekniset analyysit, simuloinnit		+	+	+	+	+	+	+		
Informaation saatavuus ja yhteistyö		+	+	+	+	+	+	+	+	+
Hankinnat, modulaarisuus ja esivalmistus		+	+				+	+	+	
Digitaalisuus ja uudet palvelukonseptit	+	+		+					+	+

4.2 Tulosten YIT:n strategiaa tukeva näkökulma

Seuraavassa on esitetty YIT:n strategiasta otsikon ”Vaikutuksemme näkyy laajasti” alta löytyvä luettelo painopistealueista vuosille 2017–2019:

- Asiakkaista välittäminen
 - Proaktiivinen asiakaskokemuksen kehittäminen
 - WOW palveluasenteessa
 - Digitaalinen asiakaspolku
- Näkemyksellinen kaupunkien kehittäminen
 - Vahvempi pitkän aikavälin kaupunkikehitys

- Hybridien ja alueiden kehittäminen
- Konseptit
- Sitoutunut projektien toteutus
 - Uusin osaaminen ja enemmän monimuotoisuutta
 - Itseohjautuvat tiimit
 - Standardisointi ja esivalmistus
- Innostava tapa johtaa
 - Henkilöstön osallistaminen ja kannustaminen
 - Aktiivisuus verkostoissa
 - Suosittu työnantaja

Luetellut aiheet vastaavat materiaalissa esiin nostettuihin markkinarealiteetteihin ja tarpeeseen uudistua niitä vastaavasti.

Tarkasteltaessa teemahaastatteluissa erityisesti rakennuksen tietomallintamisen mahdollisuuksista esiin nousseita hyötyjä on havaittavissa selvä yhteys useisiin strategisiin tavoitteisiin. Seuraavassa edellä mainittuja hyötyjä kytketään muutamiin strategian mukaisiin painopistealueisiin.

Asiakkaista välittäminen

- Rakennuksen tietomallintaminen mahdollistaa jo hankkeen aikaisessa vaiheessa oikean näköisen markkinointimateriaalin näyttämisen sekä tarvittaessa virtuaalitodellisuuden ja laajennetun todellisuuden käyttämisen esimerkiksi asiakkaan valitsemien muutosten ja konfigurointipakettien näyttämiseen aidon näköisenä.
- Ostoon sitoutuneet tulevat asukkaat voidaan kytkeä tietomalliin erilaisten digitaalisten palveluiden avulla, jolloin he voivat seurata elämänsä suurimman investoinnin edistymistä.
- Tietomalli voidaan luovuttaa asunto-osaakeyhtiölle, joka voi esimerkiksi perustaa huoltokirjan siihen. Joskus tulevaisuudessa koittavia huolto- ja ylläpitotoimenpiteitä sekä korjausrakentamisia varten tietomalli on taloyhtiölle eli asuntojen omistajille arvokas tietopankki, jonka olemassaololla voi olla myös asunnon arvoa nostava vaikutus.

Sitoutunut projektien toteutus

- Huolellisella rakennuksen tietomallintamisella ja mallin jakamisella eri toimijoille mahdollistetaan itsenäisemmin toimivat tiimit ja monimuotoisemmat työtehtävät. Varsinkin tuotannossa on mahdollista saada työryhmän tehtäviin entistä enemmän mielekkyyttä ja vastuullisuutta lisäämällä käytössä olevan tiedon määrää ja jalkauttamalla aiempaa suurempi osa toteutuksen suunnittelusta tekijöille itselleen.
- Rakennuksen tietomallien käyttö kaikissa tehtävissä voi lisätä työn houkuttelevuutta luomalla kuvaa moderneista toimintatavoista samalla ohjaten kohti moniosaamista.

- Ohjaamalla rakennuksen tietomallinnusta tiukasti yhtiön käsikirjan mukaisiin toimintatapoihin tuetaan konfiguroitavaa modulaarisuutta ja mahdollistetaan entistä laajemman komponenttien esivalmistuksen käyttäminen.

Innostava tapa johtaa

- Modernien tietoteknisten ratkaisujen käyttäminen lisää yrityksen kiinnostavuutta erityisesti nuorten ja vastavalmistuneiden keskuudessa.
- Hyödyntämällä rakennuksen tietomallinnusta esimerkiksi virtuaalitodellisuuden luomisessa rakennettavista asunnoista sekä muissakin digitaalisissa palveluissa, luodaan julkisuudessa kuvaa nykyaikaisista toimintatavoista.
- Rakennuksen tietomallintaminen tukee erinomaisesti integroitua projektitoimitusta (integrated project delivery, IPD). Tyypillisesti IPD sisältää tiimityöskentelyä ja rohkaisee hankkeen osapuolten mukaantuloa aikaisessa vaiheessa, jopa jo esisuunnittelun aikana, ja usein kannustuspalkkiot on sidottu koko projektiin yksittäisten tehtävien sijaan.

4.3 Haastattelu- ja kyselytutkimuksen vastausten vertailu kirjallisuustutkimuksen kanssa

Seuraavassa on tietomallinnuksen vaikutusta joihinkin rakennushankkeen ominaisuuksiin vertailtu kirjallisuustutkimuksen ja haastattelututkimuksen perusteilla. Yleisesti voi todeta, suurin osa hyödyistä nousi esiin molemmista.

Hankkeen kustannukset, kesto ja laatu

Kirjallisuudesta löytyy tapaustutkimuksia, joissa täysin tietomallinnetussa rakennushankkeessa on havaittu lopullisen laadun paranevan selkeästi ja kokonaiskustannusten laskevan samalla kun aikataulua on voitu kiristää. Haastatteluissa nämä hyödyt nousivat esiin useiden haastateltavien kanssa, mutta usein keskusteluissa ne mainittiin potentiaalisina hyötyinä tietomallinnuksen käytön kehittyessä ja laajentuessa. Yrityksen tietomallinnuksen nykytasolla edellä mainittujen hyötyjen ei uskottu konkretisoituvan. Kaikki kolme hyötyä olivat myös mukana kyselytutkimuksessa, jossa niiden saamat arviot sijoittuivat keskimmäiseen kategoriaan eli vastaukset asteikolla 1 – 6 olivat neljän ja viiden välissä. Kustannusten laskuun uskottiin näistä eniten (4,7), kun taas aikataulun lyheneminen (4,3) ja laadun paraneminen (4,2) olivat sijoituksissa alempana.

Yhteistyö ja tiedonhallinta

Kirjallisuustutkimuksen mukaan rakennuksen tietomallintaminen yleisesti sisältää ajatuksen toimintatapojen muuttamisesta, tiedon välittömästä saatavuudesta ja oikeellisuudesta sekä yhteistyön tekemisestä kaikkien hankkeen osapuolten kesken. Tämä toteutuu parhaiten IPD-metodia käytettäessä. Tietomallinnuksen sanotaan parantavan luottamusta toisten osapuolten tekemiseen niin, että niin sanottuja varmuuseriä ei suunnitella mukaan. Samoin muiden vastuualueilla havaittuja virheitä ei pyritä hyödyntämään omaksi eduksi vaan ne tuodaan esille ja pyritään ratkaisemaan yhdessä. Tietomallintamisen sanotaan siis vähentävän siiloutumista. Muutamassa haastattelussa mainittiin muun muassa tietomallintamisen tuovan eri osapuolet aiemmin mukaan hankkeeseen, tiedonkulun paranevan ja yhteistyö lisääntyvän. Samoin työtapojen ja koko rakentamisen kaaren arvioitiin muuttuvan. Kyselytutkimuksessa parantunut kommunikaatio nousi kolmanneksi (5,2), tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus neljänneksi (5,1) ja parantunut tiedonhallinta kuudenneksi (5,1), kaikki selkeästi ylimpään kategoriaan (vastaukset viiden ja kuuden välissä). Prosessien yhteensovittamisen helpottuminen nousi keskimmäisen kategorian kärkeen arviolla 4,9. Kyselytutkimuksessa yllättäen arvioitiin hankkeen osapuolten suhteiden paraneminen arviolla 3,9 ja organisaation joustavuuden parantuminen arviolla 3,9 huonoimpaan kategoriaan eli vastaukset kolmen ja neljän välissä. Kyselytutkimuksen vastausten keskimmäisestä kategoriasta löytyy vielä päätöksenteon paraneminen arviolla 4,1.

Suunnittelun laadun paraneminen ja aikaistuminen

Heti kirjallisuustutkimuksen aluksi nousi esiin tietomallintamisen taipumus siirtää suunnittelun työpanos aiemmaksi perinteiseen tapaan toimia verrattuna. Myös haastatteluissa esiin nousi rakennuksen tietomallintamisen suunnittelua aikaistava vaikutus, samoin kuin laadun paraneminen. Nämä johtuvat haastatteluiden perusteella siitä, että suunnittelu tehdään kerralla valmiimmaksi kuin perinteisessä luonnosteluvaiheessa. Samoin esimerkiksi tietomallin visuaalisuuteen perustuvat suunnittelukatselmukset sekä törmäystarkastelut ja muut tekniset analyysit vähentävät virheitä. Kyselytutkimuksessa toiseksi korkeimman arvion sai väite suunnitelmiin jäävien virheiden vähenemisestä (5,2). Tietomallintamisen innovatiivisuutta lisäävä vaikutus oli myös ylimmässä luokassa (5,1). Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen väheneminen jäi keskimmäiseen luokkaan (4,6).

5. YHTEENVETO

5.1 Johtopäätöksiä tutkimuksesta

Tämän tutkimuksen tulosten mukaan sekä kirjallisuudesta tehdyt havainnot että johtopäätökset YIT:n henkilökunnan kanssa käydyistä teemahaastatteluista osoittavat, että oikein ja kurinalaisesti tehty rakennuksen tietomallinnus hyödyntää yritystä hyvin moninaisesti. Erityisesti asuinkerrostalojen tuotannossa tietomallinnus tukee modulaarisuutta ja korkeata esivalmistusastetta. Samalla kun tietomallintamista otetaan käyttöön, tuntuisikin tärkeältä miettiä tapoja vakioda lopputuotetta niin, että erilaisia mallikirjastoja voidaan hyödyntää mahdollisimman paljon.

Tietomallintamisesta saatavat hyödyt ovat hyvin moninaisia ja todennäköisesti aina ylittävät mahdollisesti tarvittavien lisääntyneiden suunnittelutuntien kustannukset, sillä suunnitelmien laatu ja virheettömyys sekä kattavuus paranevat, jolloin rakentamisvaiheessa tarvittavat lisäselvitykset ja – suunnittelut vähenevät, puhumattakaan virhekustannuksista. Tietomallintaminen helpottaa yleisesti kaikenlaista rakentamisalan digitalisatiota, esimerkiksi helpottamalla asukasmuutosten havainnollistamista ja kirjaamista, auttamalla työn suunnittelussa ja johtamisessa sekä mahdollistamalla visuaalisten ohjeiden tuomisen työn suorittajille. Mielenkiintoisena näkökulmana mainittakoon haastatteluissa useamman kerran esiin tullut modernin työympäristön houkuttavuus nuorten keskuudessa verrattuna vanhanaikaiseen tapaan toimia.

Yrityksen asuntotuotantoprosessi ei tutkimuksen tekijän mielestä kovin hyvin sovellu sellaisenaan rakennuksen tietomallintamista voimakkaasti hyödyntävään tapaan toimia. Tämä johtuu lähinnä asuntotuotantoprosessin vesiputousmaisesta lähestymistavasta. Tietomallintamisen prosessinomaisuus suosii aikaista yhteistyötä hankkeen osapuolten ja asiantuntijaryhmien välillä, johon puolestaan tuntuisivat soveltuvan iteratiiviset menetelmät, joita voi lainata ketterästä (agile) metodologiasta.

5.2 Tutkimuksen arviointi

Tuloksien suureen positiivisuuteen saattoi vaikuttaa se, että tässä työssä tutkittiin tilaajan pyynnöstä vain tietomallintamisen hyötyjä puuttumatta varsinaisesti mallintamisen haasteisiin ja ongelmiin. Haastateltavilla oli vaihteleva määrä tietoa tai teoreettista taustaa tietomallintamisesta ja tämä tietysti näkyi tietyntulaisena epävarmuutena teemakeskusteluissa ja kyselytutkimusta tehdessä. Toisaalta tietomallintamisen mahdollisuuksista puhuttaessa lähes kaikki pääsivät irti nykytilanteesta ja osasivat ideoida vapaasti. Tutkimuksen tekijän mielestä tulokset ovat luotettavia annetussa viitekehyksessä.

5.3 Jatkotutkimusaiheita

Tietomallintamisen käyttöönotto suuressa yrityksessä ei ole millään muotoa kevyt hanke, vaan vaatii ehdottomasti tarkkaa suunnittelua ja tavoitteiden selvittämistä. Ohjelmistojen käyttöönotto lienee lopulta kuitenkin se helpompi osuus, sen sijaan työkulttuurin, -tapojen ja organisoitumisen kehittäminen ja muuttaminen voi olla todella vaativaa.

Ketterä rakentaminen (Agile construction) olisi varmasti tutkimuksia ansaitseva aihe; tietomallinnukseen tutustuesssa tämän tutkimuksen tekijälle syntyi vaikutelma tarpeesta uudistaa varsinkin rakennusprosessin alkuvaihetta. Toisaalta KVR-hankkeiden yleistymisen varmasti edistää moderneja työtapoja.

LÄHTEET

Arayici, Y., Aouad, G. (2011). Building information modelling (BIM) for Construction Lifecycle Management, kirjassa Construction and Building: Design, Materials, and Techniques. Nova Science Publishers, Chapter 4, s. 99-118.

Azhar, S. (2011). Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry, Leadership and Management in Engineering. Vol 11, Issue 3, Jul 2011, s.241-252

Azhar, S., Khalfan, M., Maqsood, T. (2012). Building Information Modeling (BIM): Now and Beyond, Australasian Journal of Construction Economics and Building. Vol 12, no 4, s. 15-28.

Becerik-Gerber, B., Rice, Samara. (2010). The perceived value of building information modeling in the U.S. building industry, Electronic Journal of Information Technology in Construction. Feb 2010, s. 185-201.

Bedrick, J. (2008) Organizing the Development of a Building Information Model. The American Institute of Architects. AECBytes, Aug 2008, 4s.

BIMForum (2016). Level of development specification 19.10.2016. 207s. Saatavissa: <http://bimforum.org/lod/>

BuildingSMART alliance project. (2011). BIM Project Execution Planning Guide ver 2.1, The Computer Integrated Construction Research Program, Pennsylvania State University. 125s

Buildingsmart-tech. Viitattu 27.10.2016. <http://www.buildingsmart-tech.org/>

Changali, S., Mohammad, A., van Nieuwland, M. (2015). The construction productivity imperative. McKinsey Productivity Center, June 2015, McKinsey&Company, 10s. Saatavissa: <http://www.mckinsey.com/industries/capital-projects-and-infrastructure/our-insights/the-construction-productivity-imperative>

Chelson, D. (2010) The Effects of Building Information Modeling on Construction Site Productivity. University of Maryland. 314s.

Dakhil, A., Underwood, J., Al Shawi, M. (2016). BIM benefits – maturity relationship awareness among UK construction clients. Proceedings of the First International Conference of the BIM Academic Forum Held at Glasgow Caledonian University, Glasgow, September 13-15. 15s.

- Dossick, C., Neff, G. (2010). Organizational Divisions in BIM-Enabled Commercial Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 136 Apr 2010, s. 459-467.
- Eastman, C. Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. (2011). *BIM Handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. 2nd edition. John Wiley & Sons Inc., 626 s.
- Finne, C., Hakkarainen, M., Malleson, A. (2013). Finnish BIM Survey. Rakennustietosäätiö RTS & Finnish BuildingSMART.
- Fleming, A. (2016). *Lean Integrated Design & Production*. Lectures to MSc BIM & Integrated Design/Construction Project Management students, 2016. University of Salford.
- Forbes, L., Syed, A. (2011). *Modern Construction, Lean Project Delivery and Integrated Practices*. Taylor and Francis Group, 464s.
- Gilkinson, N., Raju, P., Kiviniemi, A., Chapman, C. (2015). Building information modelling: the tide is turning, *Structures & Buildings*. Vol 168, Feb 2015, s. 81-93.
- Gu, N., Singh, V., Wang, X. (2010). Applying augmented reality for data interaction and collaboration in BIM. *New Frontiers: Proceedings of the 15th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*, s. 511–520
- Johansson, M. (2016). *From BIM to VR – The design and development of BIMXplorer*. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Department of Civil and Environmental Engineering, Chalmers University of technology. Chalmers Reproservice. 131s.
- Jäväjä, P. Lehtoviita, T. (2016) *Tietomallintaminen työmaalla*. Rakennustieto, 107s.
- Kankainen, J., Junnonen, J-M. (2010) *Rakennuttaminen*. Rakennustieto Oy, 101s.
- Kent, D., Becerik-Gerber, B. (2010). Understanding Construction Industry Experience and Attitudes toward Integrated Project Delivery, *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 136, Issue 8, Aug 2010, s. 815-825.
- Kirjanpitolautekunnan yleisohje perustajaurakoinnin käsittelystä tilinpäätöksessä ja toimintakertomuksessa. Kirjanpitolautekunta, Kauppa ja teollisuusministeriö, 17.1.2006. Viitattu 8.2.2017. Saatavissa: <http://ktm.elinar.fi/ktm/fin/kirjanpi.nsf/all/562A48A8A72BDD0BC22571020061B854?openDocument>
- Kreider, R., Messner, J., Dubler, C. (2010). Determining the frequency and impact of applying BIM for different purposes in project, *Proceedings of the 6th International*

Conference on Innovation in Architecture, Engineering and Construction (AEC). Penn State University, 10s

Koskela, L., Howell, G. (2002). The theory of project management: explanation to novel methods, 12s.

Laakso, M., Kiviniemi, A. (2012). The IFC standard- A review of History, Development and Standardization. *Electronic Journal of Information Technology in Construction*. Vol 17, May 2012, s. 134-161.

Lahdenperä, P. (2012) Making sense of the multi-party contractual arrangements of project partnering, project alliancing and integrated project delivery. *Construction Management and Economics*. Vol 30(1), Jan 2012, s. 57-79.

Li, j., Hou, L., Wang, X., Wang, J., Guo, J., Zhang, S., Jiao, Y. (2014). A Project based quantification of BIM benefits. *International Journal of Advanced Robotic Systems*. 11:123. 13s.

Love, P., Edwards, D., Han, S., Goh, Y. (2011) Design error reduction: toward the effective utilization of building information modeling. *Research in Engineering Design* 22(3). Jul 2011, s. 173-187.

Love, P., Simpson, I., Hill, A., Standing, C. (2013). From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners. *Automation in Construction*, Nov 2013, vol 35, s. 208-216.

Marjasalo, A. (2010). Rakennustyömaan johdon ajankäyttö ja työmaan ohjaus. *Diplomityö*, Tampereen teknillinen yliopiston, 97s.

Merikallio, L., Haapasalo, H. (2009). Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennus alalla. *Yhteisraportti*. LCI-Finland, 43s.

Migilinskas, D., Popov, V., Juocevicius, V., Ustinovichius, L. (2013). The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation. *Procedia Engineering*. Vol. 57, s. 767 – 774.

Nical, A.K., Wodyński, W. (2016). Enhancing Facility Management through BIM 6D. *Procedia Engineering* 164. 8s.

Pekkanen, J. (2005). Asiakkuuden menestys- ja uhkatekijät rakennushankkeessa. 169s.

Penttilä, H., Nissinen, S. & Niemioja, S. (2006). Tuotemallintaminen rakennushankkeessa - yleiset periaatteet. *Rakennustieto Oy*. 64s.

Puhto, J., Snellman, S., Gussander, J.-E., Kärkkäinen, H., Pekkanen, J. (2016). Digiselvitys 2016: Digitaalisuuden nykytila ja kehityssuunnat kiinteistö- ja rakennusallalla. Tampereen teknillinen yliopiston. Rakennustekniikan laitos. 35s.

RT 10-10992. 2010. Tietomallinnettava rakennushanke. Ohjeita rakennuttajalle. Rakennustietosäätiö, 13s.

Saaranen-Kauppinen, A., Puusniekka, A. (2012). Menetelmäopetuksen tietovaranto KvaliMOTV, Kvalitatiivisten menetelmien verkko-oppikirja. Yhteiskuntatieteellinen tietoaarkisto, Tampereen yliopisto. 167s.

Sacks, R., Barak, R. (2008). Impact of three-dimensional parametric modeling of buildings on productivity in structural engineering practice. *Automation in Construction*, vol 17 (4). S. 439 - 449.

Sacks, R., Koskela, L., Dave, B., Owen, R. (2010). Interaction of Lean and Building Information Modeling in Construction, *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol 136, Issue 9, Sep 2010, s. 968-980.

Sarhan, S. (2015) The Concept of Waste as Understood in Lean, *LeanConstruction Blog*.

Smith, P. (2014). BIM & the 5D Project Cost Manager, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. Vol 119, Mar 2014, s. 475-484.

Strafaci, A. (2008) What does BIM mean for civil engineers. *CE News Magazine* October, s. 27–36.

Teicholz, P., Goodrum, P.M. & Haas, C. (2001). U.S Construction Labor Productivity Trends, 1970-1998. *Journal of Construction Engineering and Management*. vol 127 issue 5, s. 427-429.

UK Government Building Information Modelling (BIM) Working Group. (2011). A report for UK Government Construction Client Group. Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper. Department of Business, Innovation and Skills. 107s.

UK Government Construction Strategy (UK GCS) 2016-20. (2016). Infrastructure and Projects Authority. 19s.

Wang, X., Love, P., Kim, M. J., Park, C-S., Sing, C-P., Hou, L. (2013). A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Automation in Construction*. Vol 34, s. 37-44.

Winch, G. (2010). Managing Construction Projects: an Information Processing Approach, 2nd edition, Wiley –Blackwell, 544 s.

Yleiset tietomallivaatimukset 2012 (YTV2012).

Zhang, S., Sulankivi, K., Kiviniemi, M., Romo, I., Eastman, C., Teizer, J. (2015). BIM-based fall hazard identification and prevention in construction safety planning. Safety Science. Vol 72, s. 31-45.

Liite A: Haastatteluiden kysymysrunko

Haastateltavan taustatietoja:

1. Nimi
2. Organisaatio
3. Asema
4. Tausta tietomallintamisen käytössä:
 - a. Oletko käyttänyt työssäsi tietomalleja? Miten?
 - b. Oletko osallistunut tietomallikoulutukseen?

Avoimet kysymykset tietomallin hyödyistä YIT:n asuntoprosessissa:

5. Millaisia hyötyjä ja kustannussäästöjä olet havainnut tai arvioit tietomallintamisesta saatavan alla lueteltuihin YIT:n asuntoprosessin vaiheisiin liittyen?
 1. Tontti-investointi
 2. Hankesuunnittelu
 3. Luonnossuunnittelu
 4. Pääpiirustussuunnittelu
 5. Työpiirustussuunnittelu
 6. Tuotantos suunnittelu
 7. Työmaan käynnistäminen
 8. Runkovaihe
 9. Sisävalmistusvaihe
 10. Luovutus

Kirjallisuudesta löydettyjen väitteiden arviointi:

Seuraavassa on lueteltu kirjallisuudesta ja tutkimuksista esiin tulleita rakennuksen tietomallintamisen hyötyjä. Arvioi niiden paikkaansa pitävyyttä asteikolla 1..6.

Tieto, päätöksenteko:

1. Parantunut informaation hallinta
2. Päätöksenteon paraneminen
3. Parantunut projektisuunnittelu
4. Tiedon lisääntynyt tarkkuus ja saatavuus
5. Kustannusarvion laskemisen nopeutuminen
6. Tarjousten oikeellisuuden ja tarkkuuden paraneminen
7. Rakennusvaiheessa tehtävien aineistopyyntöjen väheneminen

Kustannus, laatu, aika:

8. Projektin laadun paraneminen

9. Helpompi prosessien yhteensovittaminen
10. Suunnitelmiin jäävien virheiden väheneminen
11. Parantunut resurssien hallinta
12. Projektin kokonaiskeston lyheneminen
13. Kustannusten lasku
14. Tuottavuuden paraneminen
15. Projektien kannattavuuden lisääntyminen
16. Rakennuksen energiankulutuksen alentamisen helpottuminen

Yhteistyö ja organisointi:

17. Parantunut kommunikaatio
18. Parantunut organisaation joustavuus
19. Hankkeen osapuolten parantuneet suhteet

Rakentamisprosessi ja materiaalivalinnat:

20. Turvallisuuden paraneminen
21. Muutostöiden väheneminen
22. Esivalmistuksen mahdollistuminen
23. Takuutöiden väheneminen
24. Elinkaaritietojen hallinta
25. Helpompi työmaan suunnittelu (esim. kulku, varastot, nostot)

Yrityksen asema:

26. Asiakastyytyväisyyden lisääntyminen
27. Kilpailuedun saavuttaminen
28. Uusien liiketoimintamahdollisuuksien syntyminen

Muita:

29. Tietomallintaminen lisää innovatiivisuutta suunnitteluun (esimerkiksi helpottamalla vaihtoehtojen tarkastelua)
30. Tietomallintaminen maksaa itsensä takaisin

LIITE B: Haastateltavien tehtävät yrityksessä

Arkkitehti

CIO

Hankintapäällikkö

Henkilöstön kehityspäällikkö

Järjestelmäpäällikkö

Kehitysjohtaja, VP

Kehityspäällikkö

Laskentainsinööri

Laskentainsinööri

Laskentapäällikkö

Projektipäällikkö

Projektipäällikkö

Projektipäällikkö

Projektipäällikkö

Projektipäällikkö

Teknisen toimiston päällikkö

Työmaainsinööri

Vastaava mestari